



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Subproductos orgánicos de origen animal en
Aragón. Gestión del contenido de nutrientes.

Autor

Luis López Elbaile

Directores

Jesús Ángel Betrán Aso
Francisco Iguácel Soteras

Ciencias Ambientales
Escuela Politécnica Superior de Huesca
Febrero 2014





Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Subproductos orgánicos de origen animal en
Aragón. Gestión del contenido de nutrientes.

Autor

Luis López Elbaile

Directores

Jesús Ángel Betrán Aso
Francisco Iguácel Soteras

Ciencias Ambientales
Escuela Politécnica Superior de Huesca
Febrero 2014



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fin de grado fue realizado bajo la supervisión de D. Jesús Betrán Aso y de D. Francisco Iguácel Soteras, a quienes me gustaría expresar mi profundo agradecimiento, por aceptar la dirección de este trabajo, por su paciencia, y por el tiempo y dedicación que me han brindado.

Agradecimientos, a todas y cada una de las personas que trabajan en el Laboratorio Agroambiental del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, del Gobierno de Aragón, por proporcionarme todos los medios requeridos para realizar el análisis de las muestras y por hacerme sentir parte de ese gran equipo.

Agradezco, a mi familia y amigos, el apoyo mostrado durante todos estos años de estudios universitarios. En especial, mi agradecimiento más emotivo para Dña. Aurora Ollés Corvinos, ahí donde estés, gracias.

RESUMEN

En Aragón, al igual que en otras comunidades autónomas, se ha producido en los últimos años un aumento continuo en la producción de estiércoles. Estos estiércoles son un subproducto inevitable de las explotaciones ganaderas, que puede producir daños ambientales si no es gestionado de forma adecuada. Uno de sus posibles usos es su incorporación al suelo agrícola en forma de fertilizantes o enmiendas orgánicas, que siendo aportadas correctamente, permiten la eliminación de un “residuo”, el reciclado de los nutrientes que contiene, la mejora de las propiedades edáficas de los suelos de cultivo y la posible disminución de los costes de producción del sector agropecuario.

La correcta utilización requiere el máximo conocimiento de los subproductos orgánicos de origen animal. Por ello, este trabajo tiene el objetivo principal de caracterizar estiércoles de especies animales, monogástricas y poligástricas, con cierto potencial para ser utilizados como abono orgánico, prestando especial atención a aquellas especies menos estudiadas, pero presentes en las explotaciones ganaderas de Aragón.

Para alcanzar los objetivos planteados, se realizaron muestreos en acopios de estiércol de distintas explotaciones. Obteniéndose una serie de muestras, que posteriormente han sido analizadas en laboratorio, con la finalidad de determinar la composición de los distintos estiércoles. Concretamente, composición en elementos principales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio), oligoelementos (hierro, cobre, manganeso y cinc) y porcentajes de humedad y materia orgánica.

A partir de las concentraciones de nutrientes se ha valorado económicamente los subproductos y se ha calculado algunas opciones de sustitución total o parcial de la fertilización mineral en cultivos importantes en cuanto a superficie y demanda de nutrientes.

Los resultados principales reflejan grandes diferencias de concentraciones y equilibrio del contenido de nutrientes, entre los estiércoles caracterizados, en concreto estiércoles de pollos de cebo, codornices, porcino ecológico, mezcla de cunícola con ovino, caprino, y mezcla de vacuno de nodrizas con bovino de cebo, todos ellos producidos en diferentes lugares de Aragón. Varias de las concentraciones calculadas, distan de los valores bibliográficos consultados.

De entre los analizados, el subproducto con una mayor concentración de nutrientes principales es el producido por pollos de cebo. Los estiércoles muestran una pauta común entre especies similares, al menos en el equilibrio entre nutrientes. Este equilibrio permite separar los estiércoles de aves (2,5-1-2,5 aproximadamente), rumiantes (3-1-5 aproximadamente) y del resto, principalmente monogástricos (2-1-3 aproximadamente).

Parecen existir grandes pérdidas de nitrógeno amoniacal a lo largo del tiempo de acopio en los subproductos con mayor presencia de esta forma de nitrógeno, en concreto en el de las codornices de puesta.

En el estudio económico se estima que la totalidad de los nutrientes (N-P-K) que contienen los subproductos ganaderos generados en un año en Aragón, suponen un total de aproximadamente 131 millones de euros. Los estiércoles con una “valoración unitaria” mayor,

son los producidos por los pollos de cebo, el formado por la mezcla de cunícola con ovino y el de codornices (Valoración que oscila de los 56 a los 34 €/t de subproducto orgánico). Los “valores de sustitución” atribuibles al subproducto de pollo de cebo (con un tiempo acopio de un año), en cuanto a la posibilidad que presentan de sustituir al abonado mineral en el cultivo de cebada y maíz, son de 69 y 67 €/t de subproducto, respectivamente.

El uso de los subproductos ganaderos permite sustituir gran parte de la fertilización mineral, con unas aportaciones similares de nutrientes. Esto supone un destino ambientalmente adecuado y rentable económicamente. Se proponen algunas estrategias en la gestión de subproductos ganaderos utilizados como fertilizantes.

Palabras clave: Contenidos y equilibrios de nutrientes, estiércoles, fertilización, subproductos ganaderos, valoración económica.

ABSTRACT

In Aragon, as in the other autonomous communities, there has been a continuous increase in recent years in the production of manure. Manure is an inevitable by-product of livestock farms, which can cause environmental damage if not managed adequately. One of its possible uses is its incorporation in farm soil in the form of fertilizers or organic correctors, which if added correctly, allow the elimination of a “waste material”, the recycling of the nutrients it contains, the improvement of the edaphic properties of farmland and the possible reduction of the production costs of the agricultural and livestock sector.

Correct use requires the maximum knowledge of organic by-products of animal origin. For this reason, the main objective of this work is to characterize manure of monogastric and polygastric animal species with certain potential to be used as organic fertilizer, paying special attention to species that are less studied, but present in livestock farms of Aragon.

To reach the objectives set forth, samplings were performed on manure stockpiles of different farms, obtaining a series of samples, which were subsequently analyzed in laboratory, with the purpose of determining the composition of the different manures. Specifically, composition in main elements (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium), trace elements (iron, copper, manganese and zinc) and percentages of moisture and organic material.

Based on the concentrations of nutrients, the by-products were valued economically and some options of total or partial substitution of mineral fertilization were calculated in important crops with regard to area and demand of nutrients.

The main results reflect great differences in concentration and balance of the nutrient content among the manures characterized, specifically manures from broiler chickens, quail, ecological swine, mixture of rabbit with sheep, goat, and mixture of suckler cows with fattening cattle, all produced in different parts of Aragon. Several of the concentrations calculated are far from the bibliographic values consulted.

Among those analyzed, the by-product with highest concentration of main nutrients is the one produced by broiler chickens. The manures show a common pattern among similar species, at least in the balance between nutrients. This balance allows the separation of the manures of birds (approximately 2,5-1-2,5), ruminants (approximately 3-1-5) and of the rest, mainly monogastric (approximately 2-1-3).

There seem to be great losses of ammonium nitrogen over time of stockpiling in the by-products with greater presence of this form of nitrogen, specifically in that of laying quail.

In the economic study, it is estimated that the total nutrients (N-P-K) contained in the livestock by-products generated in one year in Aragon total approximately 131 million euros. The manures with greatest “unit valuation” are those produced by broiler chickens, the manure formed by the mixture of rabbit with sheep manure and that of quail (Valuation ranging from 56 to 34 €/ t of organic by-product). The “substitute values” attributable to the by-product of broiler chicken (with a stockpiling time of one year), with regard to their

possibility of substituting mineral fertilizer in the farming of barley and corn, are 69 and 67 €/t of by-product, respectively.

The use of livestock by-products allows the substitution of a substantial part of mineral fertilization similar amounts of nutrients. This is environmentally adapted and economically profitable use. Some strategies are proposed in the management of livestock by-products used as fertilizers.

Key words: Economic valuation, fertilization, livestock by-products, manures, nutrient contents and balances.

ÍNDICE GENERAL

Índice	I
Índice de figuras	III
Índice de tablas	V
1. Introducción	1
1.1. Cabaña ganadera en Aragón/España	1
1.2. Cuantificación de residuos generados	4
1.3. Conocimiento actual de los subproductos ganaderos con posible aplicación al suelo	5
1.4. Normativa y marco legal del aprovechamiento	7
2. Objetivos	10
3. Material y métodos	11
3.1. Revisión bibliográfica	11
3.2. Elección de granjas y acopios	11
3.3. Muestreo	13
3.4. Resultados y preparación de muestras	14
3.4.1. Molienda en fresco	14
3.4.2. Secado	15
3.4.3. Molienda en seco	16
3.4.4. Determinación de la materia orgánica por calcinación	16
3.4.5. Digestión con microondas y preparación de disoluciones madre	17
3.5. Métodos de análisis de laboratorio	18
3.5.1. Determinación del nitrógeno total	18
3.5.2. Determinación del nitrógeno amoniacal	20
3.5.3. Determinación fósforo total	20
3.5.4. Determinación de otros elementos de la muestra	21
3.6. Controles de calidad del proceso analítico	22
3.6.1. Controles de calidad del proceso analítico	22
3.6.2. Controles de calidad en los equipos	23
3.6.3. Controles sobre el personal	23
3.7. Valoración económica de los subproductos orgánicos de origen animal	23
3.7.1. Valoración económica a precio de mercado	24
3.7.2. Valor de sustitución	24

4. Resultados y discusión	25
4.1. <i>Estudio de la composición en elementos nutrientes de diversos subproductos</i>	25
4.1.1. Estiércoles de pollos cebo	25
4.1.2. Estiércoles de codornices	27
4.1.3. Estiércol de porcino ecológico	28
4.1.4. Estiércol de cunícola/ovino	29
4.1.5. Estiércoles de ovinos	30
4.1.6. Estiércoles de caprinos	32
4.1.7. Estiércoles de vacuno nodrizas/bovino cebo	33
4.1.8. Estiércoles de las distintas especies	34
4.2. <i>Posibles impactos ambientales asociados al uso de estiercol</i>	36
4.2.1. Impactos ambientales positivos	36
4.2.2. Impactos ambientales negativos	37
4.3. <i>Estrategia de utilización de subproductos ganaderos en la agricultura</i>	38
4.3.1. Conocimiento de las normativas aplicables y estado inicial del suelo de cultivo	38
4.3.2. Reposición de las extracciones que realizan los cultivos, con especial atención a los macronutrientes principales, nitrógeno, fósforo y potasio.	39
4.3.3. Establecer un plan de abonado e intentar mantener unos niveles de fertilidad adecuados.	39
4.3.4. Ejecución, evaluación y seguimiento del plan.	40
4.4. <i>Valoración económica de los subproductos</i>	40
4.4.1. Valoración económica a precio de mercado	41
4.4.2. Valor de sustitución	46
5. Conclusiones	57
6. Bibliografía	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cabaña ganadera en Aragón 2012. Resultados en efectivos por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013a). Elaboración propia.	2
Figura 2. Cabaña ganadera en España 2012. Resultados en efectivos por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013a). Elaboración propia.	2
Figura 3. Unidades Ganaderas en Aragón 2009. Resultados en UG por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2011). Elaboración propia.	3
Figura 4. Unidades Ganaderas en España 2009. Resultados en UG por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2011). Elaboración propia.	3
Figura 5. Distribución de la materia orgánica residual (MOR) por tipo de residuos en Aragón, año 2007. Resultados en porcentaje de residuo. Modificado de: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.; 2009, 170 p.	4
Figura 6. Mapa de Aragón con municipios en los que se han efectuado muestreos. Elaboración propia.	12
Figura 7. Esquema de preparación y análisis de muestras. Elaboración propia.	14
Figura 8. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de pollos (cebo). Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	26
Figura 9. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de codornices. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	27
Figura 10. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de porcino ecológico. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	29
Figura 11. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de Cunicola/Ovino. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	30
Figura 12. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de ovinos. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	31
Figura 13. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de caprinos. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	32
Figura 14. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de vacuno nodrizas/ bovino cebo. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.	34

Figura 15. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de las distintas especies. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Deyecciones en fosa/estercolero de purín/estiércol en Aragón, año 2007. Resultados en t/año. Modificado de: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.; 2009, 167 p.	5
Tabla 2. Nitrógeno en fosa/estercolero en Aragón, año 2007. Resultados en kg/año de nitrógeno y t/año de nitrógeno. Modificado de: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.; 2009, 168 p.	6
Tabla 3. Estimación del contenido de nutrientes principales (N-P-K) de los estiércoles de Aragón. Año (2008–2009). Resultados en kg/t, t/año y %. Modificado de: Orús et al.; 2011, 39 p.	6
Tabla 4. Composición estiércoles de pollos de cebo. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	25
Tabla 5. Composición estiércoles de codornices. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	27
Tabla 6. Composición estiércol de porcino ecológico. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	28
Tabla 7. Composición estiércol de cunícola/ovino. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	29
Tabla 8. Composición estiércoles de ovinos. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	31
Tabla 9. Composición estiércoles de caprinos. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	32
Tabla 10. Composición estiércoles de vacuno nodrizas/bovino cebo. Resultados en kg/t, g/t y %, sobre materia fresca (smf), y sobre materia seca (sms). Elaboración propia.	33
Tabla 11. Cabaña ganadera en Aragón (2013). Resultados en número de plazas por especie. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013b y 2013c ⁽¹⁾). Elaboración propia.	41
Tabla 12. Producción de nitrógeno por plaza y año. Resultados en N kg/plaza año. Modificado de: IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables de Aragón (Orden de 18 de septiembre de 2013, 26406 p.).	42
Tabla 13. Composición media de los estiércoles. Resultados en kg/t. Fuente: Ziegler y Heduit.; 1991, pp. 1-35. ⁽¹⁾ ; Iguácel et al.; 2008, pp. 6-7. ⁽²⁾ ; datos propios ⁽³⁾ . Elaboración propia.	42
Tabla 14. Estiércol generado en Aragón. Resultados en t/año. Elaboración propia.	43

Tabla 15. Estimación de la cantidad de nutrientes contenidos en los estiércoles. Aragón. Resultados en kg/t y t/año. Elaboración propia.	43
Tabla 16. Precio de nutrientes principales (enero/2014). Resultados en €/t. Fuente: Comunicación personal Ferpesa. Elaboración propia.	44
Tabla 17. Valoración económica a precio de mercado de los estiércoles. Aragón. Resultados en t/año y €/año. Elaboración propia.	44
Tabla 18. Valoración unitaria a precio de mercado. Resultados en kg/t y €/t. Fuente: Ziegler D., Heduit M., 1991, datos propios y Ferpesa. Elaboración propia.	45
Tabla 19. Valoración unitaria a precio de mercado. (Valores propios). Resultados en kg/t y €/t. Fuente: Datos propios y Ferpesa. Elaboración propia.	45
Tabla 20. Superficie por grupos de cultivos en Aragón, año 2000. Resultados en ha. Modificado de: Orús et al.; 2006, pp. 14-15.	46
Tabla 21. Superficie y producción de cereales en Aragón, año 2000. Resultados en ha, t y kg/ha. Modificado de: Orús et al.; 2006, pp. 14-15.	46
Tabla 22. Necesidades totales de los cultivos. Resultados en kg/t de producción esperada. Modificado de: Orús et al.; 2011, 53 p.	47
Tabla 23. Necesidades aproximadas de nutrientes. Resultados en kg/ha para la producción indicada. Elaboración propia.	47
Tabla 24. Prácticas de fertilización mineral. Resultados en kg/ha. Modificado de: Betrán ⁽²⁾ y López ⁽¹⁾ ; 2010, pp. 133-140.	49
Tabla 25. Precio fertilizantes (enero/2014). Resultados en €/t. Fuente: Comunicación personal Ferpesa. Elaboración propia.	49
Tabla 26. Estimación porcentajes de fracciones nitrogenadas. Resultados en %. Modificado de: Orús et al.; 2011, 47 p.	52
Tabla 27. Concentración estiércol pollos de cebo. (Valores propios). Resultados en kg/t. Fuente: Valores propios. Elaboración propia.	53

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas (1990 y 2000), el sector agropecuario en su conjunto, ha sufrido cambios importantes. Con anterioridad, hasta aproximadamente la década de mil novecientos noventa, la producción ganadera estaba formada por pequeñas explotaciones poco intensificadas capaces de absorber de forma “natural” los estiércoles que ellas mismas generaban. En la actualidad, las explotaciones se han intensificado y concentrado en determinadas zonas, lo que ha producido un incremento de estos subproductos hasta exceder, en algunos lugares, la capacidad natural del territorio para absorberlos, originando de esta forma, un posible daño medioambiental en el ecosistema receptor.

Por tanto, es necesario conocer y caracterizar los subproductos orgánicos de origen animal, para que partiendo de ese conocimiento, puedan ser utilizados en la fertilización de cultivos, aprovechando los nutrientes que contienen y evitando el impacto ambiental que pudiera producir un aporte inadecuado.

Los estiércoles se presentan como una fuente importante de nutrientes para los cultivos, pero existe una falta de caracterización de los mismos (excepto, en todo caso el del purín de porcino), más concretamente esa carencia se deja notar en los estiércoles o fiemos sólidos. Además, los pocos resultados disponibles, en muchos casos, no presentan concordancia entre ellos.

Por todo ello, en este trabajo se caracterizan estiércoles de especies animales monogástricas y poligástricas, con la finalidad de utilizarlos como fertilizante en cultivos. Con una aplicación en campo adecuada se podría conseguir: la eliminación de un “residuo”, mejora del terreno de cultivo, disminución de contaminación en el medio receptor (agua-suelo-aire), y valorización económica del fertilizante orgánico.

1.1. CABAÑA GANADERA EN ARAGÓN/ESPAÑA

De forma general se podría afirmar que la evolución de la cabaña ganadera aragonesa va pareja a la española.

A grandes rasgos, se puede observar que existen dos especies con un gran aumento de su cabaña en las últimas décadas (1990 y 2000), estas son el porcino y el aviar (concretamente el pollo de cebo). Otras dos especies, ovino y cunícola, están sufriendo una propensión global a la baja, disminuyendo considerablemente el número de cabezas censadas. Por otro lado, la ganadería de bovino y la de caprino, parecen tener una estabilidad más o menos sostenida en el tiempo (Segrelles, 1993).

Las tendencias generales en la evolución de la cabaña ganadera de España/Aragón encierran distintos matices propios de cada una de las especies, pero existe un denominador común a todas ellas con el cual se consigue explicar en buena medida la evolución de la misma, este denominador es la industrialización de la ganadería.

La industrialización del sector ganadero consiste en un modelo pecuario basado en la utilización de piensos compuestos y desligado en la mayoría de los casos de su base agrícola original. Se realiza este tipo de ganadería principalmente con especies monogástricas (porcino y aves) que son capaces de transformar rápidamente cereales y proteaginosas en carne mediante su cría intensiva y su depurada mejora genética. Con ello, se consigue cubrir la demanda de proteínas de origen animal que requiere la población a un precio asequible.

Este es uno de los principales motivos que ha propiciado el aumento de la cabaña ganadera de porcino y aviar, y a su vez, se ha producido que los demás tipos de ganadería hayan disminuido o mantenido el número de efectivos.

A continuación en las Figuras 1 y 2, se muestra el número de animales (efectivos) por especie de la cabaña ganadera de Aragón/España, en los que se observa como los datos aragoneses siguen la tónica nacional, según el último censo (con datos totales de Aragón y España) realizado por el Instituto Aragonés de Estadística (IAEST).

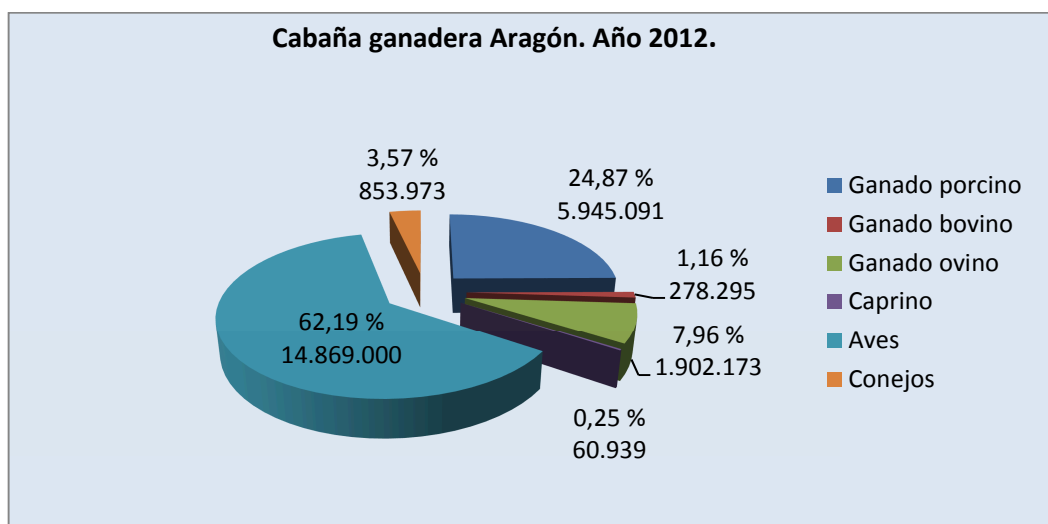


Figura 1. Cabaña ganadera en Aragón 2012. Resultados en efectivos por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013a). Elaboración propia.



Figura 2. Cabaña ganadera en España 2012. Resultados en efectivos por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013a). Elaboración propia.

Para aumentar la claridad de los datos y poder compararlos, en las siguientes Figuras 3 y 4 aparecen las unidades ganaderas (UG) por especie que se pueden encontrar en las explotaciones ganaderas de Aragón/España (datos del último censo disponible con estas unidades).



Figura 3. Unidades Ganaderas en Aragón 2009. Resultados en UG por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2011). Elaboración propia.



Figura 4. Unidades Ganaderas en España 2009. Resultados en UG por especie y %. Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2011). Elaboración propia.

Las Figuras 3 y 4 demuestran la gran superioridad del sector porcino dentro de la cabaña ganadera. Comparando porcentualmente las unidades ganaderas de Aragón y España, se puede determinar que Aragón tiene una mayor carga de porcino que España y una situación contraria con la proporción de bovino y aves. En el resto de especies ganaderas, el porcentaje de cada una, tiene un peso similar en Aragón y España.

1.2. CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS

Aragón, como el resto de España, se encuentra en una situación de cambio en el sector ganadero. Este cambio, desde producción ganadera tradicional a producción industrializada, está generando una fuerte concentración e incrementación de los residuos ganaderos.

El Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (GIRA 2009-2015), en su programa de Materia Orgánica Residual (MOR) divide los distintos residuos orgánicos en los siguientes tipos (Figura 5):

- Purines y estiércoles.
- Lodos (De origen urbano y de origen industrial).
- Residuos urbanos (Fracción orgánica).
- Residuos agrícolas.
- Residuos forestales.
- Otros residuos biodegradables.

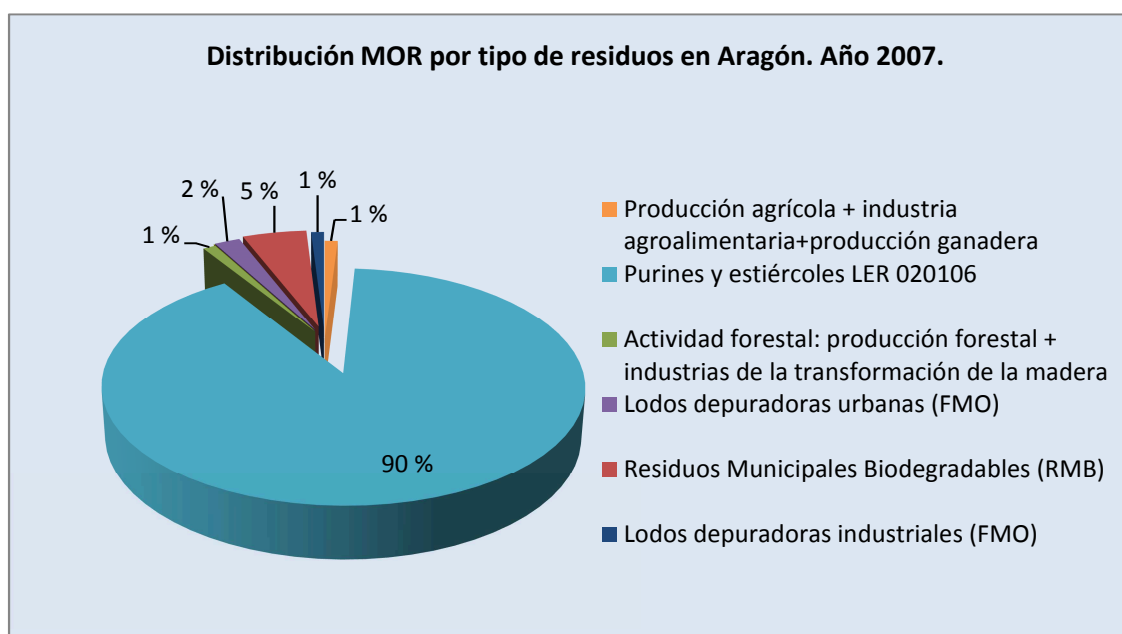


Figura 5. Distribución de la materia orgánica residual (MOR) por tipo de residuos en Aragón, año 2007. Resultados en porcentaje de residuo. Modificado de: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.; 2009, 170 p.

Como se puede apreciar en el gráfico circular anterior (Figura 5), los purines y estiércoles tienen un elevado peso dentro de los residuos orgánicos. La estimación del GIRA determina que aproximadamente el 90 % pertenecen a este tipo de residuo, reflejando, la gran importancia de este residuo en la Comunidad Autónoma de Aragón.

En términos más cuantitativos, y de acuerdo con la información recabada por el Gobierno de Aragón, se estima que la producción de estiércol en fosa/estercolero (Tabla 1) son las siguientes:

Tabla 1. Deyecciones en fosa/estercolero. Aragón 2007 (t/año).					
Provincia	Porcino	Bovino	Ovi-Caprino	Avícola	Total
Huesca	5.339.170	1.030.678	228.170	556.437	7.154.455
Zaragoza	4.107.215	440.533	328.178	575.219	5.451.145
Teruel	2.104.807	138.018	229.698	189.160	2.661.683
Total	11.551.192	2.314.249	786.046	1.320.816	15.267.283

Modificado de: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.; 2009, 167 p.

Por lo tanto en Aragón, se calcula que en el año 2007 se generaron un total de 15.267.283 toneladas de deyecciones en fosa. La provincia con un aporte más elevado de estiércol fue Huesca, con 7.154.455 toneladas, lo que representa casi la mitad del cómputo global de la comunidad autónoma. Por especies, las mayores productoras son el porcino y bovino, con 11.551.192 (t/año) y 2.314.249 (t/año) respectivamente.

1.3. CONOCIMIENTO ACTUAL DE LOS SUBPRODUCTOS GANADEROS CON POSIBLE APLICACIÓN AL SUELO

Como ya se ha dicho anteriormente, existe una falta de caracterización de los subproductos ganaderos (excepto del purín de porcino), y los datos disponibles no presentan una concordancia entre ellos.

Es complicado determinar la cantidad de estiércoles que se producen y las características de composición de los mismos. No existe un seguimiento riguroso en las explotaciones ganaderas, y son muchos los elementos que pueden formar parte los estiércoles (Heces, orines, paja, serrín, restos de alimento de ganado, etc.), por lo tanto la variabilidad, en cuanto a contenido de nutrientes con posible aplicación al suelo, dentro de un estiércol de una misma especie puede ser alta y depende de infinidad de factores (Tipo de alimentación, manejo de los animales, manejo del estiércol, maduración, etc.).

Por otro lado, el nutriente de mayor importancia desde los puntos de vista agronómico y ambiental es el nitrógeno. Este elemento es uno de los más costosos en los fertilizantes minerales y es el que produce un mayor efecto sobre los cultivos agrícolas. Desde la perspectiva ambiental, uno de los mayores riesgos de contaminación del estiércol es la polución por nitratos del agua.

Es por todo ello que se van a dar a continuación algunos valores generales del contenido de nutrientes principales (N-P-K) de los estiércoles, poniendo especial atención a la concentración de nitrógeno en los mismos.

Tomando como referencia los datos del cuadro anterior (Tabla 1), considerando que el estiércol es un producto heterogéneo y conociendo que normalmente las necesidades de fertilización de los cultivos se evalúan en base a la demanda de nitrógeno, el Gobierno de Aragón en su plan GIRA, determina las siguientes cantidades de estiércol en base al nitrógeno equivalente (Tabla 2).

Tabla 2. Nitrógeno en fosa/estercolero. Aragón 2007 (kg/año).					Total nitrógeno (t/año)
Provincia	Porcino	Bovino	Ovi-Caprino	Avícola	
Huesca	17.582.743	4.775.472	2.369.728	7.770.933	32.499
Zaragoza	13.242.447	2.062.054	3.408.385	8.033.222	26.746
Teruel	6.859.717	636.283	2.385.595	2.641.722	12.523
Total	37.684.907	7.473.809	8.163.709	18.445.877	71.768

Modificado de: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.; 2009, 168 p.

Comparando las Tablas 1 y 2, se puede determinar que la concentración de nitrógeno en los estiércoles de ovino-caprino y avícola es bastante mayor que la de bovino. Es decir, las especies con una mayor producción de estiércol son el porcino y bovino, pero en referencia a generación de nitrógeno los mayores productores son el porcino seguido del avícola y del ovino-caprino, y en último lugar el bovino.

Otra publicación realizada por diversos autores del Gobierno de Aragón y el CSIC (Tabla 3) estima los siguientes nutrientes en los estiércoles de la comunidad autónoma de Aragón.

Tabla 3. Estimación contenido de nutrientes principales N-P-K de los estiércoles. Aragón 2008-2009.							
Especie ganadera	Núm. De plazas (2008-2009)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O Del estiércol (kg/t)	Contenido N (t)	Contenido estimado P ₂ O ₅ (t)	Peso específico por especie (% P ₂ O ₅)	Contenido estimado K ₂ O (t)	Peso específico por especie (% K ₂ O)
Cerdas madres	502.907	5,5-6,5-2,4	9.505	11.215		4.182	
Porcino cebo	5.039.342	5,5-6,0-3,0	36.535	39.823		20.094	
Porcino	-	-	46.040	51.039	59,90	24.277	30,64
Vacas ordeño	15.267	5,1-3,3-6,2	1.114	724		1.360	
Vacas no ordeño	47.558	5,5-3,5-8,0	3.472	2.222		5.034	
Vacuno cebo	309.433	3,9-3,7-4,0	13.553	12.876		13.960	
Vacuno	-	-	18.139	15.822	18,57	20.353	25,69
Ovejas	1.907.723	6,7-4,2-11,2	17.152	10.805		28.643	
Cabras	38.895	6,1-5,2-5,7	350	298		326	
Ovino-Caprino	-	-	17.502	11.103	13,03	28.969	36,56
Conejas reprod.	205.221	8,5-13,5-7,5	1.560	2.480	2,91	1.373	1,73
Pollos carne	17.486.584	25,5-21,5-21,0	3.497	2.938		2.868	
Gallinas puesta	4.052.892	10,5-10,4-7,2	2.026	1.823		1.398	
Aves	-	-	5.524	4.762	5,59	4.266	5,38
Total	-	-	88.765	85.205	100,00	79.237	100,00

Modificado de: Orús et al.; 2011, 39 p.

En esta Tabla 3, además de los contenidos en nitrógeno también se estiman las concentraciones de potasio (expresado como K₂O) y fósforo (expresado como P₂O₅). Se puede observar que se producen aproximadamente 88.765 toneladas de nitrógeno, 85.205 toneladas de fósforo y 79.237 toneladas de potasio en un año.

Por especies, el porcino es el mayor generador de nutrientes con el 52 % del N, el 60 % del P y el 31 % del K, de todos los estiércoles de la comunidad. En segundo lugar se encuentra el vacuno con un 20 % del N, 19 % del P y el 26 % del K.

Con las estimaciones (Tablas 2 y 3) de la generación de nitrógeno que cada especie produce, puede determinarse que no existe una concordancia de datos. Ya que se muestran informaciones contradictorias. Según el Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (Tabla 2), después del porcino, la especie con una mayor producción de nitrógeno son las aves y en último lugar el vacuno. Como ya se ha comentado en el párrafo anterior, según autores del Gobierno de Aragón y el CSIC (Tabla 3), el vacuno ocupa el segundo lugar en generación de este nutriente.

1.4. NORMATIVA Y MARCO LEGAL DEL APROVECHAMIENTO

El marco legal para el uso de estiércoles como fertilizante es complejo y depende principalmente de su clasificación como residuo o como no residuo (subproducto), ya que esta clasificación (residuo-no residuo) es la que determina cual es la legislación aplicable en cada caso. Otro factor determinante, es el conocimiento de la situación normativa de las zonas en las que se va a realizar el aporte del estiércol. A continuación se detallan algunas de las normativas más importantes.

La Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 (relativa a los residuos) define residuo como: *“cualquier sustancia u objeto perteneciente a una de las categorías que se recogen en el anexo I y del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención o la obligación de desprenderse”* y en el Artículo 2.1 de la misma ley, expresa que quedan excluidos del ámbito de aplicación de la presente Directiva cuando ya estén cubiertos por otra legislación: *iii) “los cadáveres de animales y los residuos agrícolas siguientes: materias fecales y otras sustancias naturales y no peligrosas utilizadas en el marco de la explotación agrícola”* (Dir. 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006: p. 2.). Pues bien, la definición de residuo dada en esta Directiva y el Artículo 2.1 de la misma genera algunos problemas de interpretación, ya que no queda claramente definido si los estiércoles ganaderos son residuos o no lo son. La definición de residuo, según esta Directiva, depende sobre todo del concepto «desprenderse».

La Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (Bruselas 21/02/2007), basada en la Sentencia del Tribunal de Justicia de Luxemburgo, arroja claridad a la clasificación del estiércol, dictaminando que: *“En los asuntos acumulados C-416/02 y C-121/03, Comisión contra España, el Tribunal de Justicia sostuvo que el estiércol no se considerará residuo si se utiliza como abono en el marco de una práctica legal de aplicación en terrenos bien identificados (independientemente de si los terrenos están dentro o fuera de la misma explotación agraria que ha generado el estiércol) y si su almacenamiento se limita a las necesidades de tales operaciones de abono”* (Com. de la Comisión, de 21 de febrero de 2007: p. 8.). Por lo tanto, y a partir de esta comunicación, generalmente, el estiércol utilizado como abono orgánico es considerado un subproducto y no un residuo.

Todos los estiércoles (tanto los considerados como residuos, como los no residuos), están sujetos a la normativa referente a los subproductos animales no destinados al consumo humano (SANDACH). La última modificación de este marco normativo europeo, entro en vigor el 4 de marzo de 2011 y está compuesto por el Reglamento (CE) nº 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009 (por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano), y por el Reglamento (UE) nº 142/2011 de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, que desarrolla al anterior. A nivel nacional, es el Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre, el que establece las normas aplicables a los SANDACH.

La finalidad de la normativa referente a los SANDACH, es la gestión de los subproductos, desde el momento en que se generan hasta su uso final, valorización o destrucción. Regularizando, para garantizar que durante la misma no se generan riesgos para la salud humana, la sanidad animal o el medio ambiente y especialmente para garantizar la seguridad de la cadena alimentaria humana y animal.

Una de las normativas europeas de mayor importancia, desde el punto de vista ambiental, es la Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. Tiene como objetivos fundamentales establecer las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación de las aguas, continentales y litorales, causada por los nitratos de origen agrario y actuar de forma preventiva contra nuevas contaminaciones.

En su Artículo 2, se da por primera vez una definición exacta de estiércol, definiéndolo como: *“residuos excretados por el ganado o las mezclas de desechos y residuos excretados por el ganado, incluso transformados”* (Dir. 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991: p. 2.). También exponen las cantidades máximas de estiércol que pueden ser aplicadas, así como, las formas de almacenamiento del mismo.

Esta directiva europea ha sido traspuesta a distintas normativas a nivel estatal y a nivel autonómico.

La transposición de la Directiva 91/676/CEE a la normativa española viene dada por el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. Por tanto, y a nivel nacional, esta es la normativa encargada de regular el uso de estiércoles.

A nivel autonómico, la Comunidad Autónoma de Aragón ha regulado los estiércoles, entre otras normativas, en las Directrices Sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas (Decreto 94/2009), en el Código de Buenas Prácticas Agrarias (Decreto 77/1997), en el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables de Aragón (Orden de 18 de septiembre de 2013), estos dos últimos, con una incidencia significativa en los regadíos declarados como ZZVV (Orden de 10 de septiembre de 2013) y finalmente algunas referencias en la Normativa de la Producción integrada (Orden de 11 de mayo de 2007).

En cuanto a la cantidad máxima de estiércol aplicable al suelo, la Directiva 91/676/CEE determina que se puede aplicar, en general, a razón del equivalente de 210 kg/ha de nitrógeno. Esta cantidad, permanece invariable en las sucesivas normativas de menor rango (estatal y autonómico).

En Aragón, la gestión y dosis aplicable de fertilizantes orgánicos está sujeto a las normas generales de las Directrices Sectoriales, que al igual que la Directiva 91/676/CEE, establece el límite superior de utilización del estiércol, a razón del equivalente de 210 kg/ha de nitrógeno. De forma general, se podría resumir, que la normativa autonómica incorpora toda la normativa de rango superior, pero es más restrictiva en algunos casos, tales como: Distancias límite, condiciones de aplicación de estiércoles, etc.

La normativa aplicable sobre las Zonas Vulnerables de Aragón, disminuye la cantidad máxima aplicable al suelo, estableciendo un máximo del equivalente de 170 kg/ha de nitrógeno de origen orgánico, completando con nitrógeno mineral cuando las necesidades superen ese máximo (incluso, practicando un doble cultivo), e indica (limita), que si las necesidades de nitrógeno están por debajo de 170 kg/ha de nitrógeno, el aporte de estiércoles u orgánicos se ajustará a esas necesidades inferiores.

También cabe destacar que en determinados tipos de producciones de calidad diferenciada, se deben aplicar otro tipo de normas, como por ejemplo, en las de producción ecológica, producción integrada, etc.

Como se ha indicado al principio de este apartado, resulta de vital importancia la clasificación de los estiércoles (residuo-no residuo), ya que, los estiércoles que no cumplen con los requisitos para ser considerados subproductos (no residuos) y son clasificados como residuos tienen que regularse por medio de la Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar subproductos ganaderos, con el fin de mejorar su gestión. Se persigue un mayor conocimiento de diversos subproductos, en cuanto a su contenido de nutrientes principales, que permita una mejora en las prácticas de fertilización. Consiguiéndose de esta forma, disminuir en la medida de lo posible, los impactos ambientales negativos relacionados con esta práctica.

Algunos de los objetivos específicos, necesarios para lograr alcanzar el objetivo general, son:

Conocimiento de la composición en elementos nutrientes de diversos subproductos ganaderos susceptibles de ser aprovechados en la agricultura. Con atención particular a los menos caracterizados, pero presentes entre las explotaciones ganaderas de Aragón.

En referencia a los elementos, se requiere la determinación de aquellos que se consideran nutrientes esenciales, y especialmente la de los más demandados por los cultivos

Aproximación al conocimiento de la variabilidad de las características de los estiércoles. Diferencias en contenido de nutrientes entre distintas especies y entre subproductos de una misma especie con distintos tiempos de acopio (distintas edades).

Evaluar los subproductos desde un punto de vista económico, y proponer la mejor estrategia de utilización de estos subproductos en la agricultura.

Valoración de los impactos ambientales, tanto positivos como negativos, que puede provocar el uso de estos subproductos al ser utilizados como abono en los terrenos agrícolas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Los procedimientos seguidos para la obtención de los objetivos propuestos en el trabajo se pueden agrupar en los siguientes puntos:

- Revisión bibliográfica para la elección de los subproductos ganaderos a caracterizar, metodologías, etc.
- Disposición de diversas explotaciones ganaderas que permitan el estudio de los estiércoles generados.
- Muestreos y manejo de las muestras de forma que se obtengan los resultados más representativos de las explotaciones.
- Análisis en laboratorio de los elementos que se consideran esenciales.
- Valoración económica de los estiércoles.
- Tratamiento, estudio, discusión y conclusiones de los subproductos ganaderos.

3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En primer lugar se realiza una revisión bibliográfica para obtener la máxima información posible sobre los siguientes aspectos:

- Subproductos ganaderos caracterizados y su importancia en Aragón.
- Procedimientos de muestreo siguiendo criterios para intentar garantizar la representatividad de la muestra.
- Metodologías de preparación de muestras, métodos de ensayo de laboratorio y controles de calidad.
- Fertilizaciones con subproductos de origen animal y con abonos minerales (costes, prácticas utilizadas, necesidades de los cultivos, etc.).
- Otros: normativas, impactos ambientales, etc.

La información utilizada para realizar la revisión bibliográfica proviene de distintas fuentes y se presenta en multitud de formatos, entre los que cabe destacar: revistas, informes técnicos, recursos web, tesis, guías, libros, bases de datos y reuniones con personal especializado en temas agroambientales.

3.2. ELECCIÓN DE GRANJAS Y ACOPIOS

En la elección de las granjas y acopios, se han tenido en cuenta diversos factores de distinta índole, tales como: predisposición de los ganaderos, explotaciones con control de estiércoles, acopios en los que es posible el muestreo, acopios menos caracterizados, etc.

Principalmente, la elección de las explotaciones se ha realizado en base a las distintas especies elegidas para su caracterización. Se ha creído conveniente centrar el estudio en especies monogástricas y poligástricas que generan estiércoles principalmente sólidos, ya que las especies y sistemas de cría que producen estiércoles líquidos, como por ejemplo el purín de

porcino, gozan de un mayor conocimiento debido a que se han realizado numerosos estudios, ya que es un producto más homogéneo.

Dentro de la persecución de los objetivos y del mayor interés por determinadas especies, era también necesario considerar la disponibilidad de tiempo y de medios para realizar el muestreo y, sobre todo, los análisis.

Una vez seleccionadas las especies, se requiere una serie de explotaciones ganaderas que dispongan de un control y seguimiento de los estiércoles generados, así como, de un número adecuado de acopios. Consiguiéndose, de esta manera, unas muestras que sean representativas de cada explotación y tipo de especie.

De las explotaciones ganaderas disponibles para su estudio, se han elegido las situadas en los siguientes municipios (Figura 6): Montañana (Pollos), Monegrillo (Porcino ecológico), Villanueva de Huerva (Pollos), Azuara (Cunícola y ovino), Bujaraloz (Codornices), Lalueza (Vacuno nodriza y bovino cebo), Fuendetodos (Caprino) y Alerre (Ovino).

Mapa de Aragón con los municipios en los que se ha efectuado muestreo.

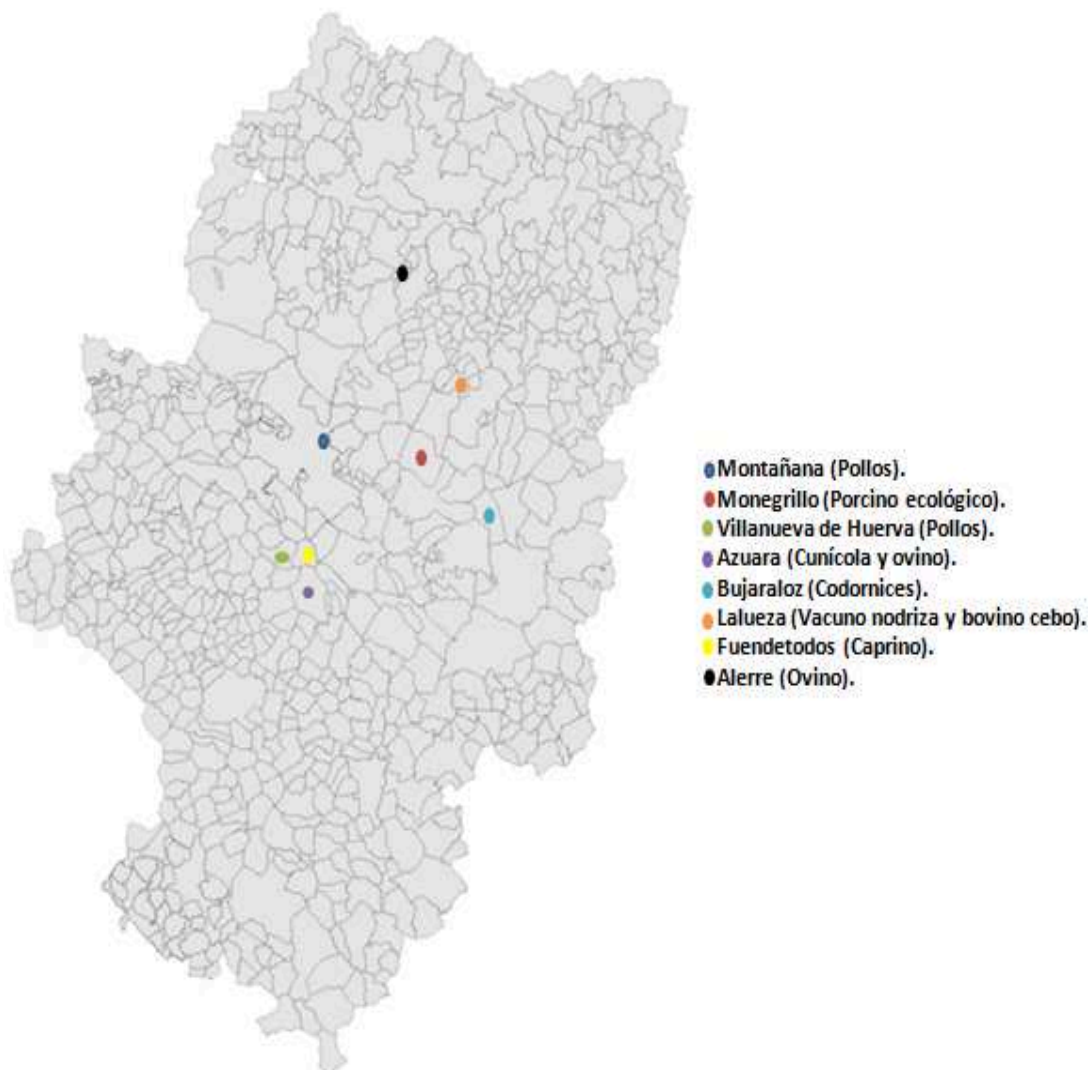


Figura 6. Mapa de Aragón con municipios en los que se han efectuado muestreos. Elaboración propia.

Como se puede observar en el mapa de la Figura 6, las granjas elegidas se encuentran dispersas dentro de la Comunidad Autónoma de Aragón, y aunque los resultados dependen de muchos de parámetros, se ha procurado que sean representativos de cada tipo de explotación en la forma en la que se está desarrollando ese tipo de ganadería en Aragón.

3.3. MUESTREO

El método de muestreo a utilizar depende de la homogeneidad o heterogeneidad que presente el acopio de estiércol. Si existe homogeneidad se aplica un muestreo sistemático regular. Por el contrario, si el montón es heterogéneo, se realiza un muestreo centrado en zonas aparentemente distintas dentro del mismo montón.

En la mayoría de los acopios se ha utilizado un muestreo sistemático regular, basándose en un patrón geométrico específico donde las muestras son tomadas a intervalos regulares y equidistantes a lo largo de ese patrón. La primera muestra se escoge aleatoriamente, y el resto de acuerdo al patrón asignado, que dependerá de las dimensiones del acopio (extensión y altura).

Una vez determinados los puntos donde se van a realizar cada una de las muestras, se opta por realizar una muestra compuesta por varias tomas. A su vez, en cada toma se mezclan varias porciones de distintas profundidades (zona superficial o alta, intermedia y baja). Las profundidades a las que se realizan las tomas, varían en función de la altura del perfil de cada uno de los acopios, pero de forma general podríamos establecer que las profundidades son: zona alta 0-30 cm, zona intermedia 30-60 cm y zona baja 60-90 cm. Esta operación se realiza con una barrena de 8 cm de diámetro y 125 cm de largo.

Es muy importante que todas las porciones incluidas en la muestra compuesta sean de igual tamaño y que se realice una muy buena mezcla de las mismas, para garantizar la homogeneidad y representatividad de la muestra compuesta.

Se procuró realizar dos muestras compuestas de cada acopio. Esto es debido a que se obtienen muestras de la misma especie pero con distintos estados de maduración (distintas edades), lo que permitirá realizar una comparativa y observar la evolución temporal del estiércol.

Cada una de las muestras se deposita en una bolsa de plástico previamente identificada, se intenta homogeneizar manualmente separando los agregados, y finalmente se cierra para evitar pérdidas de masa o de compuestos por volatilización.

Una vez en el laboratorio, las bolsas con aproximadamente 1 kg de muestra cada una, se etiquetan con el número del registro del laboratorio y se introducen en un congelador, para que de esta forma (congeladas a -20 °C), no se produzcan cambios en las formas de N antes de su análisis.

3.4. RESULTADOS Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

En las determinaciones que se explican a continuación, se ha trabajado con muestras por duplicado (dos repeticiones de cada una de las muestras a analizar). Dando como resultado final un único valor, que es el obtenido de la media de las repeticiones validas de cada muestra. Estos valores únicos, se presentan sobre materia fresca (smf) y sobre materia seca (sms) en el apartado 4.1. (Estudio de la composición en elementos nutrientes de diversos subproductos).

El procedimiento a seguir para la preparación de las muestras es el que se expone en la Figura 7.

Esquema de preparación y análisis de muestras.

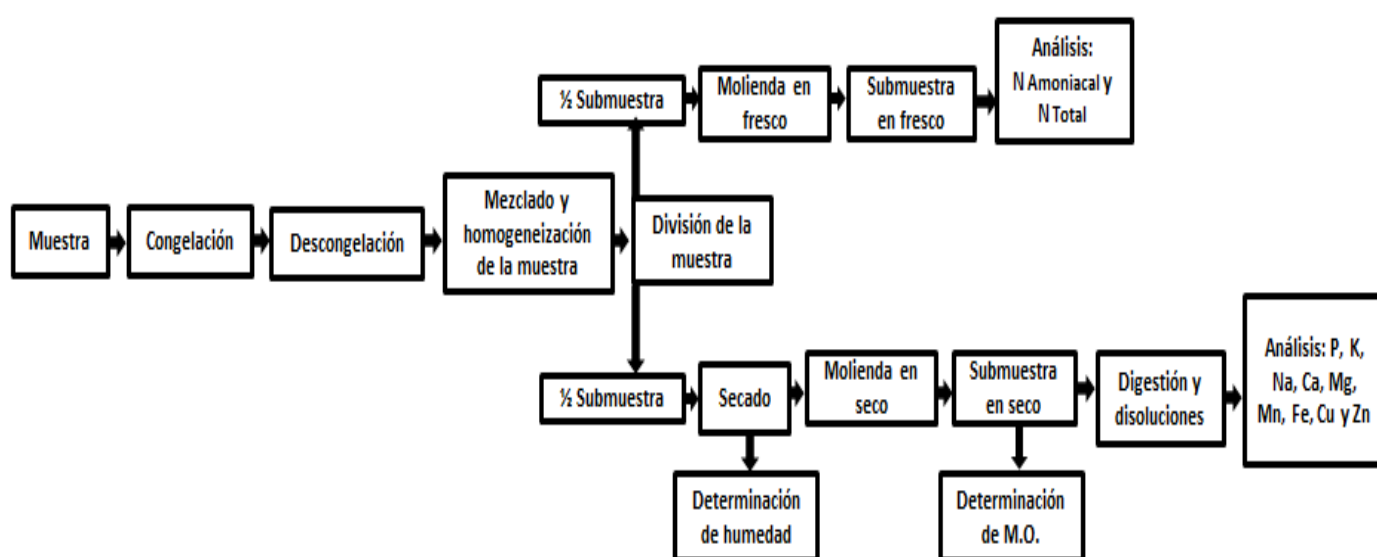


Figura 7. Esquema de preparación y análisis de muestras. Elaboración propia

3.4.1. Molienda en fresco

Tratamiento previo al análisis de nitrógenos amoniacal y total. La determinación de nitrógenos se realiza mediante el Método Kjeldahl.

Materiales:

- Tamiz con luces de malla de 5 mm
- Tarros de HDPE y bolsas plásticas

Equipos:

- Molinillo eléctrico o Triturador

Procedimiento:

Las muestras congeladas se dejan durante aproximadamente 24 horas a temperatura ambiente. Una vez descongeladas, se homogeneizan de forma manual y se divide cada una de las muestras en dos submuestras.

Una de las submuestras, a partir de ahora “submuestra en fresco”, es triturada mediante un molinillo eléctrico o triturador. Posteriormente, se hace pasar a través de un tamiz con una luz adecuada. De forma general, se trituran lo máximo posible, pero sin llegar a calentarlas.

Finalmente se depositan en un tarro o bolsa plástica etiquetada con el número de registro y se cierran de forma hermética, quedando listas para el análisis de nitrógenos.

La razón por la que se realiza todo este procedimiento en fresco es porque si se efectúa un secado de la misma, gran parte del nitrógeno amoniacal se perdería por evaporación.

3.4.2. Secado

Con esta operación se consiguen dos objetivos. Por un lado, determinar el contenido de humedad de las muestras, y por otro, secarlas para mejorar su posterior molienda.

Materiales:

- Cápsulas de porcelana
- Desecador

Equipos:

- Estufa con extracción de aire

Procedimiento:

Se toma la otra mitad de la muestra sobrante del procedimiento anterior, es decir, la submuestra que no ha sido molida en fresco y que ya se encuentra descongelada.

Esta submuestra, se introduce en dos cápsulas de porcelana previamente taradas, anotándose el peso de las mismas (cápsulas) y el peso de las capsulas con la submuestra (cápsula más muestra húmeda).

Se trasladan las cápsulas a la estufa que se encuentra a una temperatura aproximada a los 40°C y se dejan secando durante un periodo de tiempo que varía en función del tipo de muestra.

Para determinar el tiempo de secado idóneo, se realiza el siguiente proceso: Tras 24 horas de secado, se extraen las muestras de la estufa y se dejan enfriar en un desecador. Una vez que alcanzan la temperatura ambiente, se anotan sus nuevos pesos y se vuelven a introducir en la estufa. Al cabo de otras 24 horas se extraen de nuevo de la estufa y se realiza la misma

operación hasta el pesaje. Cuando la pesada no varía con respecto a la del día anterior, se considera que la muestra está seca. Posteriormente, se anota su peso seco definitivo (cápsula más muestra seca).

Una vez secas, se cubren las cápsulas con parafilm, se depositan en el interior del desecador para evitar su humectación y permanecen ahí hasta su molienda.

Conocidos los pesos de las cápsulas de porcelana vacías, los pesos de las cápsulas con muestra húmeda y los pesos de las cápsulas con muestra seca, se determina el contenido de humedad de las mismas.

3.4.3. Molienda en seco

Terminado el secado, se realiza la molienda de las muestras. Se trata de un proceso previo a la determinación de la materia orgánica (MO) y de todos los demás elementos, excepto del nitrógeno.

Materiales:

- Tamiz con luces de malla de 0,5 mm
- Tarros de HDPE

Equipos:

- Molinillo eléctrico o Triturador

Procedimiento:

Se extraen las muestras del desecador y se trasladan al molinillo. Una vez aquí, y al igual que en la molienda en fresco, las muestras son trituradas mediante un molinillo y pasadas a través de un tamiz.

Las muestras ya tamizadas, se introducen en tarros de plástico etiquetados y se cierran de forma hermética. Quedando, de esta forma, las muestras preparadas para el análisis de otras características.

3.4.4. Determinación de la materia orgánica por calcinación

Tratamiento de parte de las muestras secas y molidas, que permite determinar el contenido total de materia orgánica evaluando la pérdida de peso de la muestra al eliminar la materia orgánica por calcinación.

Materiales:

- Cápsulas de porcelana
- Desecador

Equipos:

- Mufla con extracción de aire

Procedimiento:

Todo el proceso se realiza por duplicado para cada muestra. Se pesan 5 g de muestra seca y molida, y se introduce en una capsula de porcelana previamente tarada, anotándose el peso de la misma (cápsula) y el peso con la muestra seca (cápsula más muestra con MO).

Se transportan las cápsulas hasta la mufla que se encuentra a una temperatura de 550 °C. Se introducen en el interior y permanecerán dentro aproximadamente 8 horas, transcurrido este tiempo, si la ceniza no queda de color blanquecino, se rehumecta y se calcina nuevamente durante media hora.

Terminada la calcinación, se saca de la mufla y se introduce en un desecador hasta que se enfríe a temperatura ambiente. Una vez enfriado, se anota el peso de la muestra calcinada (cápsula más muestra sin MO).

Sabiendo el peso de muestra seca de partida y el peso de la muestra seca y calcinada, se determina el porcentaje de materia orgánica que contienen.

3.4.5. Digestión con microondas y preparación de disoluciones madre

Es una técnica que consiste en el ataque de las muestras de estiércol mediante un ácido nítrico y peróxido de hidrogeno, con aporte de energía mediante microondas, que permite la extracción y solubilización de las muestras. Posteriormente, con las muestras digeridas, se realizan distintas disoluciones. Se trata de un proceso imprescindible para poder determinar la concentración de los distintos elementos (menos para los nitrógenos) que contiene la muestra.

Materiales:

- Vidrio de reloj
- Tubos de teflón
- Tubos aforados de vidrio

Equipos:

- Microondas

Reactivos:

- Ácido nítrico (HNO₃) 67 %
- Ácido nítrico (HNO₃) 1 %
- Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) 30 %

Procedimiento:

Se pesa en un vidrio de reloj 0,2 g de muestra seca y molida. Estos 0,2 g se depositan en el interior de un tubo de teflón y se transportan a una campana de extracción donde se adicionan 5 ml de ácido nítrico (67 %) y otros 5 ml de peróxido de hidrógeno (30 %).

Una vez adicionados los reactivos, el tubo se sella herméticamente mediante una camisa y un tape de teflón, que impiden cualquier tipo de pérdida.

Todo ello se coloca en un carrusel que contiene el microondas y se aplica energía mediante el mismo. Con el aporte de energía del microondas lo que se consigue es acelerar el proceso de digestión que finaliza aproximadamente a los 45 minutos.

Pasado este tiempo, el programa del microondas detiene su funcionamiento. En este punto se procede a extraer las muestras del microondas y se dejan enfriar a temperatura ambiente.

Cuando se encuentran a temperatura ambiente, se extraen los tubos de teflón de las carcasas y se traslada su contenido a unos tubos de vidrio aforados a través de un embudo. Se realiza un meticuloso trasvase de la muestra mediante distintos lavados y se enrrasan los tubos de vidrio con ácido nítrico (1 %).

Terminado todo este proceso se obtienen varias disoluciones madre que serán conservadas durante un tiempo limitado en la nevera.

A partir de estas “disoluciones madre” se prepararan otras más diluidas, cuyo factor de dilución vendrá determinado por el tipo de elemento a analizar y por el funcionamiento del propio ICP.

3.5. METODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

3.5.1. Determinación del nitrógeno total

Para obtener la cantidad de nitrógeno total se aplica el método Kjeldahl. En este proceso se lleva a cabo una digestión, una destilación y una valoración, partiendo de la muestra molida en fresco.

Inicialmente el nitrógeno de la muestra se transforma en sulfato amónico, y este sulfato, es destilado en presencia de hidróxido sódico obteniéndose amoniaco. El amoniaco destilado se recoge y reacciona con ácido bórico, formándose borato amónico. Finalmente, el borato es valorado con ácido clorhídrico, de forma que se puede determinar la cantidad de nitrógeno total que contiene la muestra.

Materiales:

- Tubos de vidrio para Kjeldahl
- Gradilla de metal

Equipos:

- Digestor Kjeldahl
- Destilador Kjeldahl
- Campana de extracción

Reactivos:

- Ácido salicílico ($C_7H_6O_3$)
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 96 %
- Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$)
- Catalizador (Cu-Se)
- Hidróxido sódico (NaOH) 40 %
- Ácido bórico (H_3BO_3) 4 %
- Ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N

Procedimiento:

El proceso comienza tomando 0,4 g de muestra fresca, previamente homogeneizada y molida. Se introducen en un tubo de vidrio para Kjeldahl, en el que también se adicionaran 0,5 g de ácido salicílico y 15 ml de ácido sulfúrico, dejándose reposar durante 30 minutos en la campana de extracción.

Transcurrido ese tiempo, se añaden 0,2 g de tiosulfato de sodio y a los 5 minutos se deposita una pastilla de catalizador. Todo ello se realiza en la campana de extracción y una vez reposado se lleva la rejilla con los tubos de Kjeldahl a un digestor.

Una vez en la placa del digestor, se colocan los cabezales del equipo sobre los tubos y se da inicio al proceso de digestión. Este proceso se realiza con un programa específico que está formado por una serie de fases a diferentes temperaturas con diferentes tiempos de reacción (1ª fase: gradiente de t° de 0 a 250 °C durante 30 minutos, 2ª fase: t° constante de 250 °C durante 30 minutos, 3ª fase: gradiente 250 a 400 °C durante 45 minutos, 4ª fase: t° constante de 400 °C durante 30 minutos y 5ª enfriamiento del sistema durante 25 minutos) que aseguran que la misma se produzca de forma controlada. Todo este proceso de digestión en medio ácido con catalizador se realiza en aproximadamente en 3 horas.

Las muestras digeridas y atemperadas son colocadas de forma individual en el destilador Kjeldahl. Donde se producirá un proceso de destilación mediante hidróxido sódico y una posterior valoración con ácido clorhídrico. Las reacciones químicas que tienen lugar en el proceso se han explicado al inicio de este apartado.

Colocado el tubo Kjeldahl en el destilador, se introducen en la pantalla del equipo una serie de datos de las muestras a analizar (número de muestras y blancos, pesos de muestras,

etc.) y un programa específico en el que están grabadas las condiciones de destilación y valoración (tiempo de adición de NaOH, tiempo de destilación, cálculo del volumen de ácido consumido, etc.). Finalmente se inicia la secuencia de destilación-valoración.

Cada vez que finaliza el proceso, el equipo emite un pitido que indica que se puede colocar el siguiente tubo de la tanda de análisis. Se retira el tubo con guantes ignífugos, se coloca uno nuevo y así de forma repetitiva hasta terminar de analizar toda la tanda. Cuando finaliza el análisis, el propio equipo imprime los resultados.

3.5.2. Determinación del nitrógeno amoniacal

El cálculo de la cantidad de nitrógeno amoniacal se realiza mediante el método Kjeldahl. La metodología a utilizar es muy similar a la de la determinación de nitrógeno total. La única diferencia es que en la determinación del amoniacal, se realiza una destilación y valoración, pero no requiere de una digestión previa de las muestras.

Materiales:

- Tubos de vidrio para Kjeldahl
- Gradilla de metal

Equipos:

- Destilador Kjeldahl

Reactivos:

- Hidróxido sódico (NaOH) 40 %
- Ácido bórico (H_3BO_3) 4 %
- Ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N

Procedimiento:

El procedimiento se inicia tomando 0,4 g de muestra homogénea y molida en fresco. Se traspara la muestra a un tubo de vidrio para Kjeldahl y se cierra la boca del mismo con ayuda de una película autosellante de parafilm que evita la pérdida de componentes por evaporación. En este caso, no se añade en el tubo ningún reactivo previo a la destilación.

Los tubos de vidrio preparados, se van introduciendo en el interior del destilador Kjeldahl y se opera de igual manera que en la determinación del nitrógeno total.

3.5.3. Determinación fósforo total

El cálculo de la cantidad de fósforo en las muestras se lleva a cabo partiendo de las disoluciones madre previamente digeridas, a las que se les aplica la técnica de colorimetría.

Materiales:

- Tubos aforados (20 ml)
- Matraces aforados (25 ml)
- Pipetas electrónicas

Equipos:

- Espectrofotómetro de UV-Vis

Reactivos:

- Nitrovanadato de molibdeno

Procedimiento:

Se toma un número de matraces aforados igual al número de muestras a analizar. En cada uno de los matraces de 25 ml, se adicionan 2,5 ml de agua destilada, 1 ml de solución madre y 5 ml de nitrovanadato de molibdeno. Después se enrasan con agua destilada todos los matraces, se tapan y agitan, dejándolos reposar una hora antes de medirlos.

Posteriormente, partiendo de un patrón de concentración conocida, se preparan disoluciones de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 ppm. Con ello, se conseguirá una calibración indirecta en el espectrofotómetro (recta de calibrado). También se requiere de un blanco.

Todos los matraces se llevan al espectrofotómetro y se comienzan a medir cada una de las muestras y patrones con concentraciones conocidas. Gracias a las lecturas de absorbancia, los pesos y las concentraciones de los patrones, se determina la cantidad de fósforo en las muestras.

3.5.4. Determinación de otros elementos de la muestra

La determinación de la mayoría de los elementos de las muestras se realiza por emisión atómica mediante el equipo de espectrofotometría de emisión atómica en plasma inductivamente acoplado (ICP). Los componentes a determinar son: Potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso, zinc y sodio.

Materiales:

- Tubos aforados de vidrio
- Gradilla plástica

Equipos:

- Espectrofotómetro de emisión atómica en plasma inductivamente acoplado (ICP)

Procedimiento:

El propio equipo ya tiene registradas distintas rectas de calibrado para cada uno de los elementos a analizar. Por ello el procedimiento para la medición es bastante sencillo y rápido.

Se toma una gradilla plástica con todos los tubos aforados de vidrio, en cuyo interior se encuentran las disoluciones madre que han sido digeridas con anterioridad y el equipo las analiza de forma automática.

Únicamente hay que tener en cuenta que para la determinación de algunos elementos se requiere realizar alguna dilución al quedar sus mediciones por encima de los valores de la recta de calibrado.

3.6. CONTROLES DE CALIDAD DEL PROCESO ANALÍTICO

El control de calidad permite garantizar unos resultados comparables y trazables. El Laboratorio Agroambiental del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, del Gobierno de Aragón, tiene implantado un Sistema de Calidad basado en la ISO-17025, y tiene la acreditación para varias de las técnicas utilizadas. Ese sistema impone determinados requisitos como la existencia de un Plan de Control de Calidad para cada técnica, que incluye diversos controles, entre los que cabe destacar:

- Control del proceso analítico
- Control de los equipos
- Control del personal

3.6.1. Controles de calidad del proceso analítico

Se trabaja con muestras por duplicado (repeticiones de cada muestra a analizar), consintiéndose una distancia máxima entre dos repeticiones. La distancia máxima es un valor obtenido en la validación de cada método de ensayo concreto. Si la diferencia entre las repeticiones es menor o igual que ese valor, se acepta como resultado la media de los dos valores obtenidos. Si fuese mayor, se procede a repetir la muestra en una nueva tanda, evaluando nuevamente los resultados.

Cada tanda de muestras incluye material de referencia certificado. Este material de referencia se utiliza para validar la serie de trabajo o tanda. El resultado obtenido en el material de referencia, tras el aplicar el proceso (método), debe contener el valor certificado por el fabricante dentro de una tolerancia (a menudo la incertidumbre asociada al valor). En caso contrario, se repasa el proceso. Si el proceso no ha sido correcto se repetirá la serie completa.

En cada serie, se incluye un blanco de muestra. El ensayo en blanco se lleva cabo empleando únicamente los reactivos en las proporciones utilizadas en el análisis. Los valores de blanco se anotan y contrastan con los valores de referencia obtenidos en la validación del método de ensayo correspondiente. Si el valor obtenido, es superior al calculado en la

validación del método de ensayo, se repasa el proceso. Si continúa el error, se procede a repetir la serie.

Aproximadamente, una vez al año el laboratorio participa en ejercicios de intercomparación. Esto consiste, en el intercambio y comparación de los resultados obtenidos, entre distintos laboratorios. La aceptación de los propios resultados vendrá determinada por el análisis de un indicador estadístico (Z-score) que evalúa la diferencia obtenida por el Laboratorio frente al resultado asignado a esas muestras del ejercicio.

3.6.2. Controles de calidad en los equipos

Todos los equipos de medida que participan en las mediciones deben estar calibrados. La calibración se realiza frente a patrones certificados, de modo que se garantiza la trazabilidad de las medidas obtenidas.

Para poder comprobar su estado, cada equipo lleva una etiqueta en la que consta sus condiciones de calibración, y tiene asociado un “Libro de equipo” que contiene toda la información relevante y el historial de mantenimientos, calibraciones, averías, y demás incidencias.

En algunos casos (destilador Kjeldhal) se introduce una muestra en cada serie que va destinada a comprobar el estado del equipo antes de su uso. Si el resultado no es correcto hay que ajustarlo o recalibrarlo.

3.6.3. Controles sobre el personal

Las personas que participan en la obtención de los resultados deben cumplir una serie de requisitos entre los que destaca la necesidad de cualificación previa y el compromiso de confidencialidad.

La cualificación se basa en un aprendizaje previo que debe cubrir cualquier persona, general en el sistema de calidad y específico de la determinación.

En todas las series debe quedar constancia de la persona que ha desarrollado cada operación, y fechas en las que se realizó la misma

3.7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SUBPRODUCTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN ANIMAL

La valoración económica se ha abordado desde dos puntos de vista:

- El valor que se puede atribuir al subproducto por los nutrientes que contiene.
- Valor de sustitución que representa el subproducto en cuanto a la posibilidad de sustituir al abono mineral convencional.

3.7.1. Valoración económica a precio de mercado

En este apartado del trabajo, se realizan dos estimaciones. En la primera, se valoran la totalidad de los estiércoles que se generan en Aragón, y en la segunda se da un valor unitario a cada uno de los estiércoles. Considerando en ambos casos el valor de los nutrientes principales que contienen.

Para obtener una valoración global de los estiércoles producidos en Aragón en un año, se parte del número de plazas de cada especie que aparecen en los últimos censos disponibles. Multiplicándose estas plazas por unos índices de producción de nitrógeno y, conociendo las composiciones de los distintos estiércoles, se pueden estimar las cantidades de nutrientes que contienen los estiércoles que se generan en Aragón. Multiplicando estas cantidades por el precio de mercado de los nutrientes, se obtiene una valoración de los estiércoles en el conjunto de Aragón.

Una estimación del valor unitario se calcula mediante los contenidos de nutrientes principales en los estiércoles y los precios de mercado de estos nutrientes. Presentando como resultado, el precio por tonelada de subproducto orgánico.

3.7.2. Valor de sustitución

Considerando varias de las prácticas habituales de fertilización en los cultivos más representativos de Aragón, en los que se podría sustituir toda o parte de la fertilización mineral por subproductos orgánicos, se obtiene el valor de sustitución que correspondería a estos últimos.

Partiendo de las necesidades de los cultivos en función de la producción esperada, los precios de mercado de determinados fertilizantes, las “eficiencias” de los elementos nutritivos principales de un determinado estiércol, costes de operaciones de transporte-aplicación y algunos otros parámetros, se han racionalizado operaciones de abonado (mineral-orgánico), obteniéndose los costes totales que suponen cada una de las prácticas de abonado mineral y abonado orgánico en los distintos cultivos. Mediante las diferencias de los costes totales (costes del abonado mineral y orgánico), se ofrece una valoración del subproducto de origen animal.

Para las dos valoraciones económicas (valoración por nutrientes y valor de sustitución) se han utilizado precios de nutrientes principales y de compuestos fertilizantes minerales, que se obtienen de los precios de mercado de fertilizantes habituales, concretamente, urea (46 % N), superfosfato (18 % P_2O_5), cloruro potásico (60 % K_2O), abono complejo (NPK 8-15-15) y de nitrato amónico cálcico (27 % N).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN EN ELEMENTOS NUTRIENTES DE DIVERSOS SUBPRODUCTOS

Este trabajo determina la composición de algunos de los estiércoles generados en explotaciones ganaderas situadas en de la comunidad autónoma de Aragón y no siempre bien caracterizados en estudios preexistentes. En concreto estiércoles de pollos de cebo, codornices, porcino ecológico, mezcla de cunícola con ovino, caprino, y mezcla de vacuno de nodrizas con bovino de cebo.

En los siguientes puntos, se especifica el tipo de ganadería que produce el estiércol estudiado, los resultados de su caracterización y el análisis de sus características más destacables.

4.1.1. Estiércoles de pollos cebo

El estiércol de pollos de cebo, hace referencia al originado en explotaciones intensivas por una variedad de pollo desarrollada para la producción de carne (Broiler).

Se aportan resultados de cuatro muestras de estiércoles (Tabla 4):

- Pollos 1. Estiércol de cebo de pollos. Reciente (20 días). Montañana.
- Pollos 2. Estiércol de cebo de pollos. Acopio de 1 año. Montañana.
- Pollos 3. Estiércol de cebo de pollos. Acopio de 3 meses. Villanueva de Huerva.
- Pollos 4. Estiércol de cebo de pollos. Acopio de 6 meses. Villanueva de Huerva.

Tabla 4. Composición estiércoles de pollos de cebo.								
	Pollos 1		Pollos 2		Pollos 3		Pollos 4	
	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal kg/t)	28,15	45,01	34,35	45,24	35,05	46,02	33,51	41,11
Nitrógeno (N-NH ₄ kg/t)	9,58	15,32	8,50	11,21	10,18	13,37	7,23	8,87
Fósforo (P ₂ O ₅ kg/t)	9,38	15,02	13,23	17,45	10,78	14,16	11,69	14,34
Potasio (K ₂ O kg/t)	24,77	39,65	34,13	45,02	34,34	45,10	34,36	42,15
Calcio (CaO kg/t)	21,24	33,95	31,78	41,92	22,04	28,95	27,59	33,85
Magnesio (MgO kg/t)	16,08	25,70	21,88	28,86	9,29	12,20	9,74	11,95
Sodio (Na kg/t)	5,01	8,01	5,67	7,48	3,15	4,13	3,36	4,12
Cobre (Cu g/t)	31,28	50,96	45,08	59,47	33,40	43,86	33,56	41,17
Hierro (Fe g/t)	837,99	1.339,50	1.329,52	1.753,75	694,99	912,67	683,95	838,99
Manganeso (Mn g/t)	344,24	550,26	451,95	596,16	356,60	468,29	358,46	439,72
Zinc (Zn g/t)	290,50	464,36	409,65	540,36	426,92	560,63	488,18	598,85
Materia orgánica (%)	46,66	74,59	53,75	70,90	61,59	80,88	66,13	81,12
Humedad (%)	37,44	-	24,19	-	23,85	-	18,48	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 4, se presenta la Figura 8, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

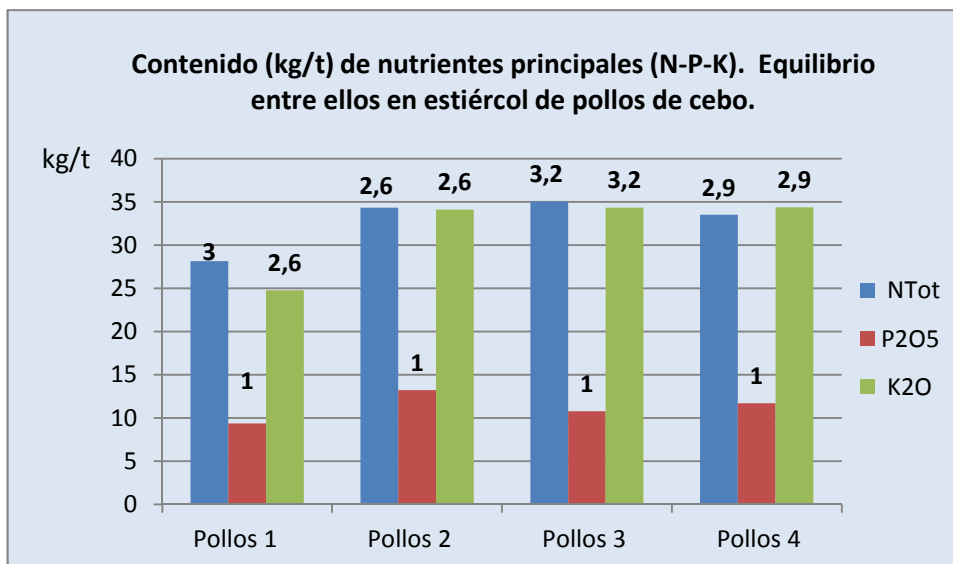


Figura 8. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de pollos de cebo. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

Todos los estiércoles de cebo de pollos analizados, tienen unas altas concentraciones de nutrientes principales (N-P-K) y mantienen un patrón de equilibrio similar (3-1-3).

Entre los fiemos de pollos de la misma explotación (Montañana. Pollos 1 y 2), de 20 días y 1 año, puede observarse que el de 20 días (Pollos 1) parece tener menor cantidad de nutrientes esenciales que el más maduro (Pollos 2). Esto no es del todo cierto, ya que sí que tiene una menor concentración de nutrientes, pero no tan acentuada como la que muestra la Figura 8. La diferencia que se observa, es debida a que el estiércol de 20 días es mucho más reciente que la de 1 año, por lo que su contenido de humedad es mucho mayor, y comparando sobre materia fresca, parece tener una variación de nutrientes elevada, pero si se observan los mismos datos sobre materia seca (Tabla 4), se puede determinar que ambos estiércoles tienen concentraciones similares de nutrientes.

Comparando los estiércol de pollos de la misma explotación de Villanueva de Huerva (pollos 3 y 4, de 3 y 6 meses, respectivamente), se observa que sus concentraciones de N-P-K en ese periodo corto de tiempo, se mantienen constantes. Con una pequeña bajada de nitrógeno y potasio a lo largo del tiempo.

No parecen existir diferencias significativas, en cuanto al contenido de nutrientes entre las explotaciones situadas en distintos municipios. Este tipo de explotaciones, suelen tener un sistema de producción “estandarizado” (misma especie de pollo, misma alimentación, cama carbonada, etc.) y por tanto, un estiércol de características similares.

4.1.2. Estiércoles de codornices

Este estiércol procede de las deyecciones de codornices de puesta de huevo (también llamada codorniz japonesa), producido en una explotación de cría intensiva, altamente industrializada.

Se aportan resultados de dos muestras de estiércoles (Tabla 5).

- Codornices 1. Estiércol de codornices de puesta. Reciente (7 días). Bujaraloz.
- Codornices 2. Estiércol de codornices de puesta. Acopio de 6 meses. Bujaraloz.

Tabla 5. Composición estiércoles de codornices.				
	Codornices 1		Codornices 2	
	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal kg/t)	21,72	85,28	19,34	42,04
Nitrógeno (N-NH₄ kg/t)	15,94	62,60	9,37	20,36
Fósforo (P₂O₅ kg/t)	5,54	21,75	12,26	26,64
Potasio (K₂O kg/t)	10,89	42,75	21,03	45,70
Calcio (CaO kg/t)	36,52	143,40	83,87	182,25
Magnesio (MgO kg/t)	2,46	9,65	6,81	14,80
Sodio (Na kg/t)	0,65	2,55	2,28	4,95
Cobre (Cu g/t)	9,69	38,05	20,25	43,99
Hierro (Fe g/t)	161,56	634,33	711,33	1.545,70
Manganeso (Mn g/t)	117,47	461,19	305,26	663,32
Zinc (Zn g/t)	136,85	537,30	340,94	740,86
Materia orgánica (%)	16,90	66,37	26,22	56,97
Humedad (%)	74,53	-	53,98	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 5, se presenta la Figura 9, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

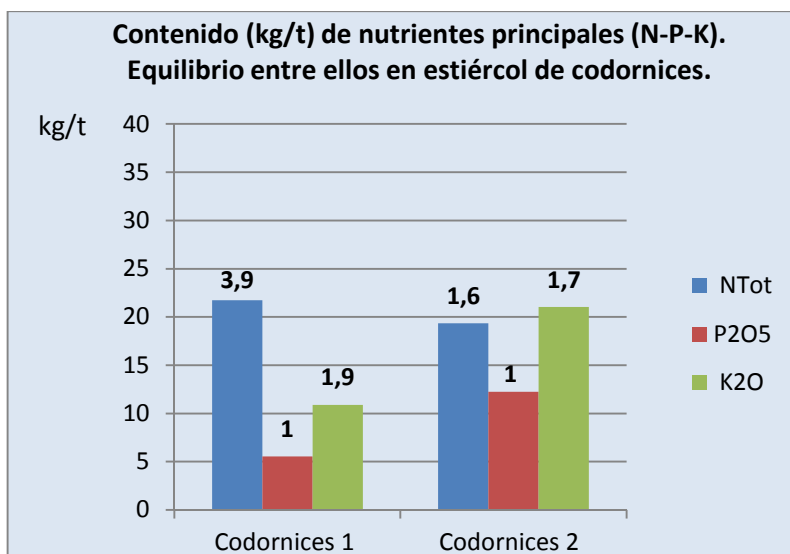


Figura 9. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de codornices. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

Los estiércoles de codornices tienen altos contenidos de nutrientes. Destacando entre ellos, el nitrógeno en forma amoniacal.

En el subproducto orgánico de las codornices (codorniz 1 y codorniz 2), se aprecia una elevada disminución de la concentración de nitrógeno, y un aumento del fósforo y potasio en el tiempo. La disminución de nitrógeno observada, es debida a que gran parte del nitrógeno se encuentra en forma amoniacal y por tanto se pierde fácilmente a la atmosfera. Entre el estiércol reciente y el acopiado durante 6 meses se puede observar una gran disminución de nitrógeno amoniacal, que supondría la volatilización de 6,7 kg de nitrógeno por tonelada, o lo que es lo mismo un porcentaje de pérdidas del 41 % sobre materia fresca.

4.1.3. Estiércol de porcino ecológico

Se trata de un fiemo generado por una explotación ecológica de porcino semi-intensiva, en la que se realiza la cría en ciclo cerrado. Es decir, desde la cerda madre (porcino reproductora) hasta el engorde de cerdo (porcino de cebo).

En este caso se aporta una muestra de estiércol reciente (un mes) de la granja situada en Monegrillo (Tabla 6). Ha sido imposible tomar muestra más evolucionada, ya que el ganadero, no disponía de un acopio de mayor tiempo.

Tabla 6. Composición estiércol de porcino ecológico.		
	Porcino ecológico	
	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal. kg/t)	12,23	43,12
Nitrógeno (N-NH ₄ kg/t)	4,35	15,36
Fósforo (P ₂ O ₅ kg/t)	5,04	17,78
Potasio (K ₂ O kg/t)	11,04	38,95
Calcio (CaO kg/t)	13,74	48,45
Magnesio (MgO kg/t)	4,68	16,50
Sodio (Na kg/t)	1,32	4,67
Cobre (Cu g/t)	17,32	61,06
Hierro (Fe g/t)	639,24	2.254,02
Manganeso (Mn g/t)	124,21	437,98
Zinc (Zn g/t)	341,87	1205,47
Materia orgánica (%)	21,88	77,15
Humedad (%)	71,64	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 6, se presenta la Figura 10, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

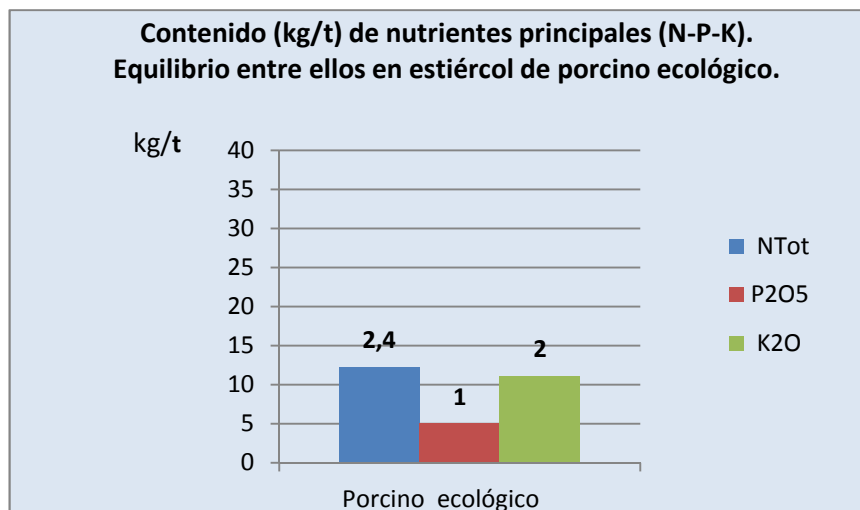


Figura 10. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de porcino ecológico. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

Es un estiércol con un alto contenido de humedad y unos valores intermedios, en cuanto a contenido de nutrientes. Por ello, inicialmente podría parecer que se trata de un subproducto con un bajo contenido de nutrientes, pero si se observa su composición sobre materia seca en la Tabla 6, se puede determinar que tiene valores medios-altos de nutrientes.

4.1.4. Estiércol de cunícola/ovino

Este estiércol, es el resultante de la mezcla de subproductos orgánicos de explotaciones de ovino y cunícola. En ambas explotaciones, realizan la cría de reproductoras y cebo.

Por el mismo motivo indicado en porcino ecológico, se aporta una sola muestra de estiércol de un acopio de un año de las granjas situadas en Azuara (Tabla 7).

Tabla 7. Composición estiércol de cunícola/ovino.		
	Cunícola/Ovino	
	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal kg/t)	18,17	31,21
Nitrógeno (N-NH₄ kg/t)	3,03	5,21
Fósforo (P₂O₅ kg/t)	8,56	14,70
Potasio (K₂O kg/t)	32,44	55,70
Calcio (CaO kg/t)	46,36	79,60
Magnesio (MgO kg/t)	14,91	25,60
Sodio (Na kg/t)	3,23	5,55
Cobre (Cu g/t)	40,69	69,86
Hierro (Fe g/t)	1.798,74	3.088,50
Manganeso (Mn g/t)	160,50	275,59
Zinc (Zn g/t)	326,14	560,30
Materia orgánica (%)	38,77	66,58
Humedad (%)	41,76	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 7, se presenta la Figura 11, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

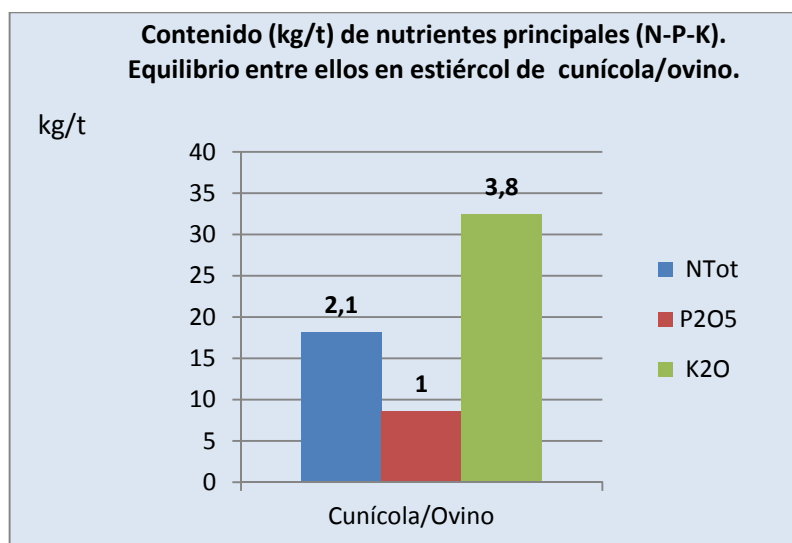


Figura 11. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércol de Cunícola/Ovino. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

Con esta mezcla de deyecciones de cunícola y ovino, se obtiene un estiércol con una concentración intermedia de nutrientes.

Como se desprende de la Figura 11, se trata de un subproducto con un alto contenido potásico. Esto puede ser debido al soporte vegetal (cama) sobre el que se estabulan las ovejas, y también por la dieta basada en forrajes que este tipo de ganado ingiere.

4.1.5. Estiércoles de ovinos

El estiércol de ovinos, está compuesto por las deyecciones de ovejas-corderos y cama de una explotación extensiva.

Se aportan resultados de cuatro muestras de estiércoles (Tabla 8):

- Ovino 1. Estiércol de ovino. Reciente (1 mes). Alerre.
- Ovino 2. Estiércol de ovino. Acopio de 4 meses. Alerre.
- Ovino 3. Estiércol de ovino. Acopio de 9 meses. Alerre.
- Ovino 4. Estiércol de ovino. Acopio de 1 año. Alerre.

Tabla 8. Composición estiércoles de ovinos.

	Ovino 1		Ovino 2		Ovino 3		Ovino 4	
	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal kg/t)	7,59	18,59	8,60	17,43	11,99	24,34	15,85	25,14
Nitrógeno (N-NH ₄ kg/t)	0,53	0,31	0,61	1,23	0,90	1,82	1,52	2,41
Fósforo (P ₂ O ₅ kg/t)	3,16	7,75	3,43	6,94	4,81	9,77	5,13	8,14
Potasio (K ₂ O kg/t)	11,27	27,60	11,25	22,80	10,91	22,15	23,61	37,45
Calcio (CaO kg/t)	11,78	28,85	17,05	34,55	45,16	91,65	71,54	113,45
Magnesio (MgO kg/t)	3,19	7,82	3,67	7,44	4,95	10,05	6,75	10,70
Sodio (Na kg/t)	2,66	6,52	2,71	5,49	21,78	4,42	4,74	7,52
Cobre (Cu g/t)	4,38	10,72	4,92	9,96	6,25	12,69	7,26	11,52
Hierro (Fe g/t)	483,83	1.184,98	1.468,75	2.974,98	4.110,69	8.341,50	4.713,73	7.474,99
Manganeso (Mn g/t)	40,85	100,05	66,06	133,81	143,49	91,18	127,98	202,95
Zinc (Zn g/t)	32,72	80,13	36,74	74,41	45,13	91,58	62,05	98,40
Materia orgánica (%)	33,88	82,98	37,90	76,77	25,45	51,65	30,90	49,01
Humedad (%)	59,17	-	50,63	-	50,72	-	36,94	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 8, se presenta la Figura 12, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

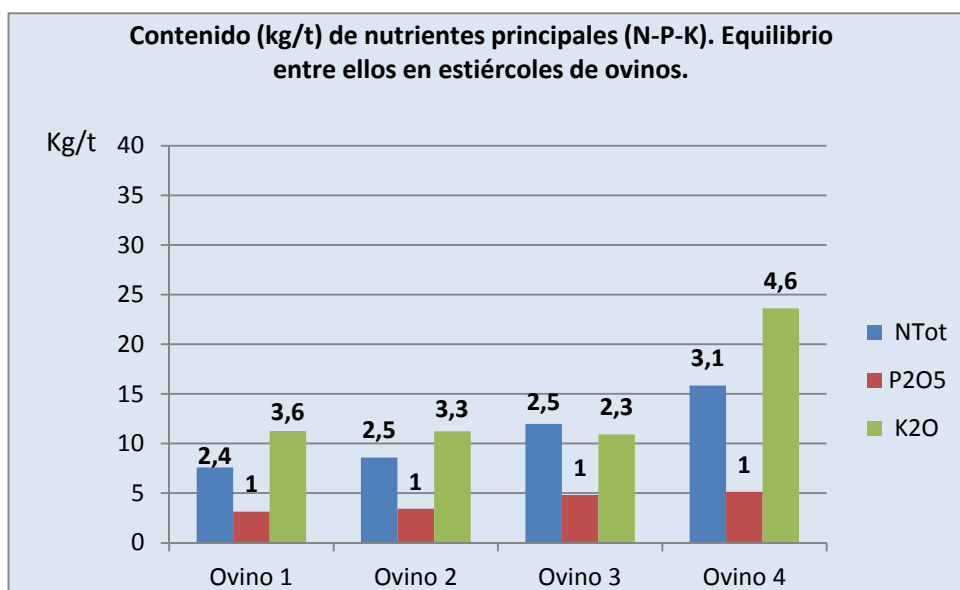


Figura 12. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de ovinos. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

Los estiércoles de ovino caracterizados, contienen unas cantidades de nutrientes principales similares (a excepción del ovino 4), siendo estas concentraciones medias-bajas.

Son estiércoles de una misma explotación, y por tanto sus aportes nutritivos son similares, pero en el caso particular del fiemo de “ovino 4” son más elevados. La razón se puede asociar al bajo contenido en humedad de esta muestra con respecto a las demás.

Comparando los estiércoles de ovinos, se puede observar que las concentraciones de nutrientes principales tienden a elevarse con el tiempo de acopio.

4.1.6. Estiércoles de caprinos

Subproducto orgánico formado por las deyecciones de cabras lecheras, en una explotación semi-extensiva.

Se aportan resultados de dos muestras de estiércoles (Tabla 9):

- Caprino 1. Estiércol de caprinos. Reciente (6 meses). Fuendetodos.
- Caprino 2. Estiércol de caprinos. Acopio de 15 meses. Fuendetodos.

Tabla 9. Composición estiércoles de caprinos.				
	Caprino 1		Caprino 2	
	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal kg/t)	10,45	24,70	9,47	13,40
Nitrógeno (N-NH ₄ kg/t)	1,37	3,24	0,63	0,90
Fósforo (P ₂ O ₅ kg/t)	3,16	7,46	4,12	5,83
Potasio (K ₂ O kg/t)	19,05	45,00	21,63	30,60
Calcio (CaO kg/t)	39,83	94,10	172,41	243,90
Magnesio (MgO kg/t)	4,61	10,90	5,87	8,30
Sodio (Na kg/t)	1,64	3,88	1,42	2,01
Cobre (Cu g/t)	5,95	14,07	7,95	11,24
Hierro (Fe g/t)	855,07	2.020,01	4.566,57	6.460,00
Manganeso (Mn g/t)	58,99	139,35	153,48	217,12
Zinc (Zn g/t)	35,09	82,89	41,69	58,98
Materia orgánica (%)	28,26	66,76	26,42	34,85
Humedad (%)	57,67	-	29,31	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 9, se presenta la Figura 13, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

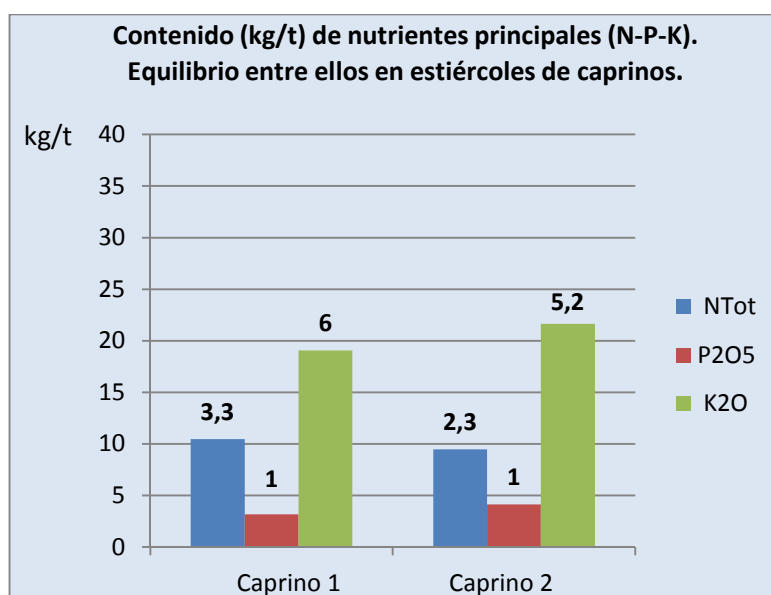


Figura 13. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de caprinos. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

En los subproductos orgánicos producidos por caprinos, se encuentran concentraciones medias-bajas de nitrógeno y fósforo, y concentraciones más altas de potasio.

La evolución temporal del nitrógeno, tiende a disminuir en el tiempo, al contrario de lo que ocurre con el fósforo y potasio.

Los estiércoles de caprinos y ovinos caracterizados, muestran una elevada concentración de hierro. Esta alta concentración, puede ser debida al manejo del acopio de estiércol. Al voltear el estiércol de forma mecánica (mediante pala cargadora), parte del sustrato del suelo donde reposa el estiércol es añadido al propio acopio, mezclándose en el acopio en pequeñas cantidades pero suficientes para elevar el contenido en hierro.

4.1.7. Estiércoles de vacuno nodrizas/bovino cebo

Es el estiércol resultante de la mezcla del fiemo de vacuno de nodrizas y bovino de cebo. Se trata de una ganadería de raza alpina de montaña en la que se practica la trashumancia.

Se aportan resultados de dos muestras de estiércoles (Tabla 10):

- Vacuno nodrizas/bovino cebo 1 (V.N. /B.C. 1). Mezcla de estiércol de vacuno nodriza y bovino de cebo. Reciente (7 días). Lalueza.
- Vacuno nodrizas/bovino cebo 2 (V.N. /B.C. 2). Mezcla de estiércol de vacuno nodriza y bovino de cebo. Acopio de 2 años. Lalueza.

Tabla 10. Composición estiércoles de vacuno nodrizas/bovino cebo.				
	V.N. /B.C. 1		V.N. /B.C. 2	
	(smf)	(sms)	(smf)	(sms)
Nitrógeno (Ntotal kg/t)	8,24	31,22	11,83	35,08
Nitrógeno (N-NH₄ kg/t)	2,22	8,42	3,81	11,31
Fósforo (P₂O₅ kg/t)	3,02	11,43	4,64	13,78
Potasio (K₂O kg/t)	14,47	54,80	28,69	85,10
Calcio (CaO kg/t)	8,73	33,05	11,89	35,25
Magnesio (MgO kg/t)	3,74	14,15	4,23	12,55
Sodio (Na kg/t)	2,92	11,05	2,84	8,44
Cobre (Cu g/t)	11,81	44,73	13,18	39,07
Hierro (Fe g/t)	267,57	1.013,15	713,18	2.115,00
Manganeso (Mn g/t)	62,90	238,18	81,65	242,15
Zinc (Zn g/t)	62,96	238,41	73,74	218,70
Materia orgánica (%)	20,59	77,98	23,72	70,35
Humedad (%)	73,59	-	66,28	-

Elaboración propia.

Considerando los datos de la Tabla 10, se presenta la Figura 14, que resume el contenido de nutrientes principales y el equilibrio entre los mismos.

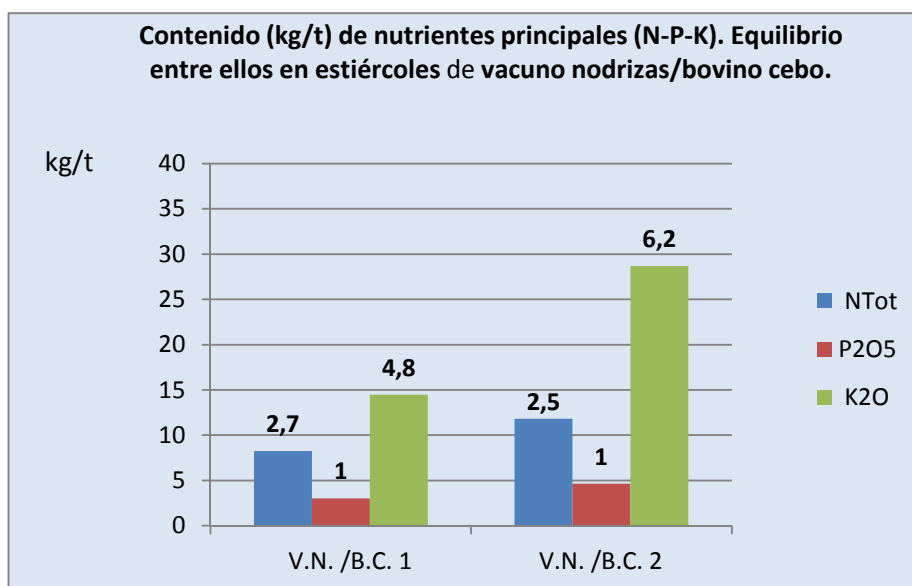


Figura 14. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de vacuno nodrizas/ bovino cebo. Resultados en kg/t, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

Las mezcla de estiércoles de vacuno nodriza y bovino de engorde, continua con el patrón establecido por los rumiantes. Es decir, una proporción de nitrógeno y fósforo media-baja y un mayor contenido de potasio.

La tendencia general del contenido de elementos principales en este estiércol es a aumentar en el tiempo.

4.1.8. Estiércoles de las distintas especies

En la Figura 15 se muestra, a modo de resumen, todos los estiércoles de las distintas especies analizadas.

Se aportan resultados de:

- Pollos. Media entre los datos de Pollos 1, Pollos 2, Pollos 3 y Pollos 4.
- Codornices. Media entre los datos de Codornices 1 y Codornices 2.
- Porcino ecológico. Resultado único Porcino ecológico.
- Cunícola/Ovino. Resultado único Cunícola/Ovino.
- Ovino. Media entra los datos de Ovino 1, Ovino 2, Ovino 3 y Ovino 4.
- Caprino. Media entre los datos de Caprino 1 y Caprino 2.
- V.N. /B.C. Medias entre los datos de V.N. /B.C. 1 y V.N. /B.C. 2.

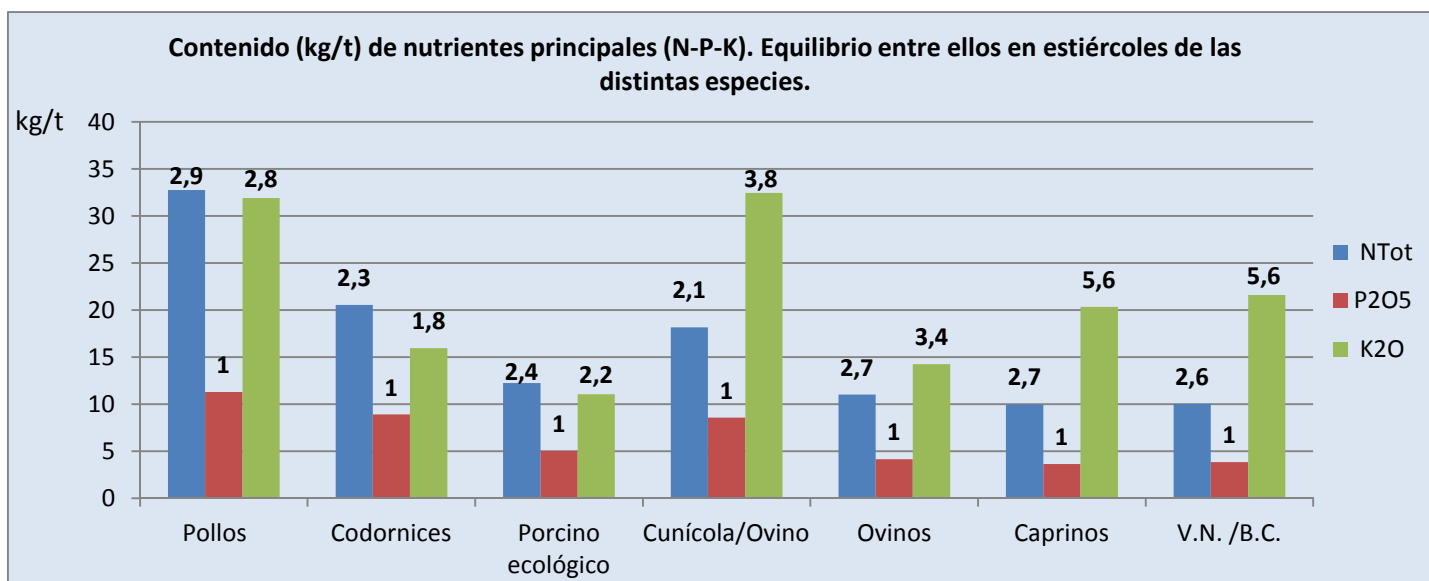


Figura 15. Contenido (kg/t) de nutrientes principales (N-P-K). Y equilibrio entre ellos en estiércoles de las distintas especies, sobre materia fresca (smf). Elaboración propia.

En función de los contenidos de nutrientes principales mostrados en la Figura 15, se podrían agrupar los estiércoles de estas especies ganaderas en tres tipos. Estiércoles de aves, estiércol de los rumiantes, y un tercero formado por el fiemo de porcino y la mezcla de cunicola/ovino.

Los estiércoles de aves, producidos en explotaciones intensivas, contienen unos valores nutritivos (N-P-K) altos. Su dieta está basada en piensos con altos valores proteicos (principalmente soja), proporcionando a este subproducto elevadas cantidades de nitrógeno. Por otro lado, comparando los estiércoles de pollos y codorniz, se puede observar que existe una diferencia considerable en sus concentraciones de potasio y nitrógeno. Esta diferencia, puede ser atribuible al uso de cama. En los sistemas de cría de pollos broilers, se suele aplicar una cama constituida por cascarilla de arroz, que mejora el bienestar de las aves, y a su vez, facilita el manejo del estiércol en el momento de su extracción de la nave. En las explotaciones de codorniz no se realiza esta práctica. La cascarilla aporta un alto contenido de potasio, debido a su propia constitución, y nitrógeno por la capacidad que presenta de retenerlo, evitando que parte del mismo, pase a forma amoniacal y se volatilice.

Los estiércoles formados en explotaciones extensivas (o semi-extensivas), como los de los rumiantes analizados (ovino, caprino, vacuno nodriza y bovino engorde), presentan un contenido de nutrientes principales medio-bajo, a excepción de potasio. Estos valores (medios-altos) de potasio son debidos a la alimentación fibrosa que ingieren (rica en potasio) y a la cama que se les aporta, formada principalmente por restos de cosecha de trigo o de maíz. El bajo contenido en fósforo, es causado por la alimentación basada en forrajes (bajos en fósforo) y el poco consumo de piensos.

El estiércol de porcino ecológico y mezcla de cunicola/ovino, son generados en explotaciones semi-intensivas, consiguiendo de esta forma, que su composición elemental siga un patrón intermedio entre la cría intensiva (aves) y la extensiva (rumiantes).

4.2. POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL USO DE ESTIERCOL

La utilización de estos subproductos como fertilizante en los cultivos, puede provocar los impactos que se muestran a continuación.

4.2.1. Impactos ambientales positivos

Como es de esperar, el abonado con estiércoles produce impactos ambientales positivos que son observados de manera directa en el suelo. Con el aporte de este subproducto, se mejora calidad de los suelos agrícolas, pero no solo eso, ya que, como consecuencia de esta utilización agronómica, se pueden producir una serie de beneficios ambientales en otros compartimentos naturales, tales como, el agua y el aire.

El estiércol contiene valiosos nutrientes, que se tornan accesibles para las plantas cuando es aportado al suelo. Por lo tanto, se aumenta la fertilidad de los mismos, al incorporarse elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros. Algunos autores afirman, que el fósforo del estiércol proporciona una disponibilidad de este elemento mayor que el proveniente de fertilizantes minerales (Mcintosh y Varney, 1973). Con la aplicación de estiércol, además de enriquecer la fertilidad de los suelos de cultivo, se reducen los requerimientos de fertilizante mineral, al cubrir parte de estas necesidades con los nutrientes del propio estiércol.

El abonado con estiércoles, además del aporte de nutrientes, tiene la ventaja que produce un aumento del tiempo de asimilación y disponibilidad de estos elementos nutritivos (Wessler, 2001). Es decir, aumenta la retención de nutrientes en el suelo (ya sean, estos de origen orgánico o de origen inorgánico) produciendo una liberación más lenta. La materia orgánica del estiércol, más concretamente la parte transformada en humus, tiene una carga eléctrica negativa que incrementa la capacidad del suelo para la adsorción de minerales, lo que ayuda a la retención de los nutrientes esenciales del propio estiércol y a los elementos traídos con otro tipo de fertilizante. Esta práctica de abonado de suelos con estiércoles, puede mejorar su fertilidad no sólo en el año del aporte y el siguiente, sino también a largo plazo (Simpson, 1986). Al aumentar la capacidad de adsorción de nutrientes en el suelo, se evita que estos elementos pasen a contaminar otros medios, como podrían ser el acuático y el atmosférico.

Con el aporte de estiércol se proporcionan materiales orgánicos que ejercen una influencia favorable sobre la estructuración del suelo (Thompson y Troeh, 1988). La materia orgánica que se encuentra en el estiércol, puede involucrarse en las propiedades físicas del suelo receptor, mejorando propiedades como la porosidad, aireación y capacidad de retención del agua. Por lo que su uso, mejora la estructura y reduce la vulnerabilidad del suelo a la erosión. Existen estudios que determinan que con la utilización de estiércoles se pueden hacer más ligeros los suelos arcillosos y más compactos los arenosos. Hafez (1974) trabajando con estiércoles en suelos arenosos, demostró que se producía un aumento de la agregación de las partículas y una reducción de la densidad aparente. Tiaks, Mazurak y Chesnin (1974) aplicaron estiércol en un suelo arcilloso y consiguieron aumentar su permeabilidad al tiempo que reducían su densidad aparente (Thompson y Troeh, 1988).

Utilizando el estiércol como abono se consigue llevar a cabo un reciclado de los nutrientes que fueron suministrados a los animales. Una parte importante de los nutrientes del suelo-planta son extraídos por medio de la alimentación de los animales y tras el paso por su metabolismo, pueden retornar parcialmente a su origen inicial en forma de abonado, completando así un ciclo cerrado. Con este reciclado de nutrientes, se obtienen varios beneficios ambientales. Por un lado, se pueden dar salida a unos subproductos de origen animal, que de no seguir este ciclo, podrían provocar una acumulación de unidades nutritivas en suelos que generaría toxicidad y contaminación de los mismos, con la posibilidad de extenderse a otros medios, como el aire y el agua. También este reciclado, supone una disminución de la utilización de abonos químicos, lo que contribuye a ahorrar recursos no renovables y aliviar el impacto contaminante que la industria fertilizante utiliza y genera al producir los abonos químicos.

4.2.2. Impactos ambientales negativos

La utilización del estiércol como abono, también acarrea consecuencias negativas en el medio ambiente. En función, de cómo sean utilizados y gestionados, los impactos pueden dejar de ser significativos e incluso, en algunos casos, pueden ser eliminados en su totalidad. Aun así, a continuación se muestran los que se han considerado más importantes.

El suelo puede sufrir un impacto importante, al verse seriamente afectado si se aplica una gran cantidad de estiércol que exceda la propia capacidad del cultivo para la captación de los mismos. En este caso, se produciría un desequilibrio de nutrientes, y podrían acumularse compuestos no deseados, como, metales pesados, microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, zoonosanitarios, plaguicidas y herbicidas; Powers, 2009).

La sobrecarga de nutrientes y otros elementos en el compartimento del suelo, pueden producir una contaminación de las masas de agua superficial y subterránea, mediante su lixiviado o escurrimiento. Según algunos autores, el nitrógeno que contiene el estiércol está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy, 1999). Este fósforo, que llega al agua no se considera directamente tóxico, pero si se encuentra en concentraciones muy elevadas, puede producir eutrofización, aumentando el número y vigor de las plantas acuáticas, disminuyendo el oxígeno disuelto, lo que varía el pH, afectando así, a la calidad inicial del agua (EPA, 2000).

En la atmósfera, también se producen emisiones de compuestos contaminantes que provienen del estiércol. El paso de los contaminantes del estiércol a la atmósfera, se produce por la volatilización de los mismos, tras producirse una descomposición química y bacteriana de los estiércoles animales. Principalmente, estos compuestos se presentan en forma de gases de efecto invernadero (GEI) y emisiones malolientes. Entre los gases liberados por los estiércoles destacan el amoníaco, el óxido nítrico y el metano. Diversos estudios estiman, que el estiércol contribuye con el 50 % del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera (BANR y BEST, 2003), además de un aporte del 25 % de las emisiones antropogénicas de óxido nítrico y una contribución de metano del 16 % de las emisiones totales (IPCC, 2006).

Todos los impactos mostrados anteriormente, son los que se detectan con una mayor asiduidad al utilizar este tipo de subproducto de origen animal. Existen otros, como por ejemplo las enfermedades humanas relacionadas con el consumo de agua contaminada con compuestos (bacterias patógenas, nitratos, etc.) que provienen del estiércol, pero debido a su frecuencia de manifestación u origen, se consideran impactos menos significativos o secundarios.

4.3. ESTRATEGIA DE UTILIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS GANADEROS EN LA AGRICULTURA

La elección de una única estrategia para la utilización de todos estos subproductos no tiene cabida, ya que son muchas las variables (tipo de estiércol, especie de cultivo, climatología de la zona, etc.) que se tienen que considerar a la hora de razonar una fertilización con estiércoles.

Por ello, a continuación se muestran una serie de consideraciones generales, a las que habría que atender, para elegir la estrategia más adecuada para cada situación particular.

4.3.1. Conocimiento de las normativas aplicables y estado inicial del suelo de cultivo.

El agricultor, debe cumplir una u otra normativa en función de la ubicación espacial del área de cultivo y del tipo de producción que realice (caso de la producciones de calidad diferenciada). Las situaciones normativas más comúnmente utilizadas se pueden agrupar en:

- Aplicación general: Son de aplicación las Directrices Sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas (Decreto 94/2009), que limitan el aporte nitrogenado en forma orgánica a 210 kg/ha de nitrógeno.
- Zonas vulnerables: Donde los aportes de nitrógeno tienen que ser proporcionales a las cosechas obtenidas y establece un límite de utilización de estiércoles equivalente a 170 kg/ha de nitrógeno. Además de limitar la época de aplicación, contabilizar aportes indirectos de N, etc.
- Programas de producción integrada: En los que se exige controlar la fertilidad del suelo y limita las aportaciones de los macronutrientes principales (N-P-K).
- Producción ecológica: Regulada por el Reglamento 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, expresa textualmente: *“la fertilidad y la actividad biológica del suelo deberán ser mantenidas o incrementadas mediante la rotación plurianual de cultivos que comprenda las leguminosas y otros cultivos de abonos verdes y la aplicación de estiércol animal o materia orgánica, ambos de preferencia compostados, de producción ecológica”* (R (CE). 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007: p. 9.).

Para conocer el estado inicial del suelo de labor, la práctica más usual es efectuar un análisis de suelos. El objetivo del mismo, es determinar la “oferta” de nutrientes del suelo, de forma que, junto con los valores de extracción de nutrientes “demanda” se pueda realizar un balance que permita establecer las cantidades de estiércol a aportar como abono.

4.3.2. Reposición de las extracciones que realizan los cultivos, con especial atención a los macronutrientes principales, nitrógeno, fósforo y potasio.

Es necesaria una reposición sistemática de los macronutrientes principales (N-P-K), que extraen las cosechas, realizando un balance previo, en que se deberían tener en consideración todas las siguientes variables.

- Análisis de suelo: Que indique la disponibilidad inmediata de nitrógeno, fósforo y potasio, así como la textura y la cantidad de materia orgánica en el suelo.
- Aportes indirectos de nutrientes: Tales como, los restos de cosecha (restos de la cosecha del cultivo anterior incorporados al suelo), cultivo precedente (importancia de los cultivos de leguminosas, que tienen capacidad de fijar N atmosférico depositándolo en sus raíces y por tanto en el suelo) y el agua de riego (posibilidad de que el agua contenga nitratos).
- Conocimiento del subproducto a utilizar como abono: Mediante análisis químicos que determinen la composición del estiércol (N-P-K, C/N, etc.). Una característica importante a conocer sería la “eficiencia”, que se podría definir como: *la proporción de macronutrientes N-P-K de los estiércoles, que pueden ser aprovechados por los cultivos, en el mismo año de su aplicación*. Para la determinación de la eficiencia, normalmente se utilizan referencias bibliográficas.
- Necesidades de los cultivos: Que vienen determinadas, principalmente, por el tipo de cultivo y por los niveles productivos de las cosechas (producción esperada). Las necesidades deben ser cubiertas por todas las fuentes que proporcionan nutrientes (estiércol, aportes indirectos, etc.). Los valores de extracción de nutrientes o necesidades de los cultivos, pueden obtenerse mediante aproximaciones bibliográficas.

4.3.3. Establecer un plan de abonado e intentar mantener unos niveles de fertilidad adecuados.

El plan de abonado, consiste en definir las cantidades de estiércol a aplicar, así como el momento y la tecnología a utilizar para cubrir las necesidades de los cultivos e intentar mantener unos niveles adecuados de fertilidad en el suelo.

En cuanto a la elección de las cantidades y momento de aplicación del abonado, de forma general, es aconsejable aportar la mayor cantidad posible de estiércol en abonado fondo (intentando cubrir las máximas necesidades de los cultivos con estiércoles), y posteriormente complementar en cobertera, si es necesario, con un abono de origen mineral.

En función de las variables genéricas consideradas hasta ahora, conociendo los subproductos disponibles y su composición, se puede calcular una dosis de abonado ajustado. Posteriormente, habrá que corregirlas y aplicar unos niveles de abonado mayores o menores, dependiendo del contenido de nutrientes inicial del suelo. Es decir, si el suelo inicialmente tiene altos contenidos de determinados nutrientes, se pueden aplicar unos niveles de abonado inferiores, y al contrario. Con ello lo que se pretende conseguir es mantener unos niveles de fertilidad adecuados tras el cultivo, y por supuesto, considerando que este proceso mantenga o mejore la fertilidad del mismo y no ocasione problemas de contaminación.

En la distribución del estiércol, hay que considerar cual es el momento y la tecnología más adecuada. Para determinarlo hay que tener en cuenta factores: operativos (situación del suelo en el momento de la aplicación, disponibilidad de maquinaria, etc.) económicos (costes de transporte, costes aplicación en campo, etc.) y ambientales (intensidad de lluvias, necesidad de la aplicación, temperatura, etc.).

4.3.4. Ejecución, evaluación y seguimiento del plan.

A medida que se va poniendo en práctica el plan de abonado, pueden surgir cuestiones no previstas durante la planificación (cambio de precio del producto a recolectar, condiciones climáticas adversas para la aplicación, etc.), que requieren realizar nuevos ajustes del plan inicial.

Un aspecto importante a valorar durante la ejecución del plan, es que el abonado es una decisión económica, que persigue que los márgenes de cultivo sean positivos. Es decir, que los aportes deben intentar maximizar el beneficio del agricultor. En esta dirección, en el momento de aplicar la cobertera, a la vista del estado del cultivo, precio previsto de la producción y coste del nuevo aporte, se decide corregir las dosis calculadas inicialmente o incluso anular dicho aporte. Lo que se pretende conseguir, no es alcanzar las más altas producciones, sino el óptimo económico en el uso de los fertilizantes, y esto se da cuando el último incremento de la producción, se logra con un gasto de abonado de cobertera equivalente al valor del incremento de cosecha.

Finalmente, es necesario realizar un seguimiento del cultivo y de sus resultados, analizar-evaluar si la estrategia elegida para el uso de los subproductos ganaderos funcionó, y cuál fue el grado de eficacia.

4.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SUBPRODUCTOS

La valoración se va a llevar a cabo por dos vías diferentes. La primera, valoración económica a precio de mercado, consiste en calcular la cantidad de macronutrientes principales (N-P-K) que contienen los estiércoles, y en base a ese contenido, y sabiendo el precio de mercado de estos elementos, se asigna un valor a cada uno de los nutrientes del estiércol. La suma se podría considerar un valor aproximado del estiércol, aunque no tiene en cuenta una parte de los beneficios y elementos adicionales del estiércol, ni tampoco el coste de aplicación que puede ser superior en este caso. En la segunda, valor de sustitución, se realiza una comparación entre un programa de abonado mineral y un abonado con estiércol en dos cultivos. En este caso, y en función de distintos parámetros (costes de abonado mineral, transporte-aplicación, manejo, etc.), se da un valor aproximado por tonelada de subproducto, y en este sí se tendrán en cuenta los diferentes costes de aplicación.

4.4.1. Valoración económica a precio de mercado

Por una parte se han valorado la totalidad de los subproductos ganaderos que se producen en Aragón, y por otra se calcula una valoración unitaria de cada uno de ellos.

Inicialmente, para obtener una valoración global de estiércoles en Aragón, se necesita determinar la cantidad de estiércol producido por cada una de las especies. Dado que existe disparidad de criterios según los autores consultados, se realiza el cálculo utilizando el número de plazas de cada especie (Tabla 11), según los últimos censos del Instituto Aragonés de Estadística. Se multiplica dicho número por los índices de producción de nitrógeno, establecidos como referencia por el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables de Aragón (Orden de 18 de septiembre de 2013) y, conocidas las concentraciones de nitrógeno en cada tipo de estiércol (Tabla 13), se obtienen las cantidades de estiércol generado (Tabla 14).

Tabla 11. Cabaña ganadera Aragón (2013).		
Especie/tipo		Núm. de plazas
Vacuno nodriza		43.932
Vacuno ordeño		13.466
Bovinos cebo		272.131
Porcino reproductoras		465.817
Porcino cebo		5.399.475
Porcino ecológico ⁽¹⁾		1.107
Ovino		1.564.988
Caprino		49.468
Cunícola reproductoras		123.102
Cunícola cebo		615.510
Avícola	Gallinas puesta	5.261.025
	Pollos cebo	18.997.743
	Codorniz puesta	137.000
	Codorniz cebo	1.770.000

Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013b, 2013c⁽¹⁾).
Elaboración propia.

Tabla 12. Producción de nitrógeno por plaza y año.		
Especie/tipo		N kg/plaza año
Vacuno nodriza		73,00
Vacuno ordeño		73,00
Bovinos cebo		43,80
Porcino reproductoras		18,90
Porcino cebo		7,25
Porcino ecológico		67,17
Ovino		9,00
Caprino		9,00
Cunícola reproductoras		4,30
Cunícola cebo		2,15
Avícola	Gallinas puesta	0,50
	Pollos cebo	0,20
	Codorniz puesta	0,03
	Codorniz cebo	0,03

Modificado de: IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables de Aragón (Orden de 18 de septiembre de 2013, 26406 p.).

Tabla 13. Composición media de los estiércoles.				
Especie/tipo		Concentración (kg/t)		
		N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vacuno nodriza ⁽¹⁾		3,9	3,7	4,0
Vacuno ordeño ⁽¹⁾		5,5	3,5	8,0
Bovinos cebo ⁽¹⁾		2,4	1,0	2,7
Porcino reproductoras ⁽²⁾		3,1	2,6	1,7
Porcino cebo ⁽²⁾		5,5	4,7	3,0
Porcino ecológico ⁽³⁾		12,2	5,0	11,0
Ovino ⁽¹⁾		6,7	4,2	11,2
Caprino ⁽¹⁾		6,1	5,2	5,7
Cunícola reproductoras ⁽¹⁾		8,5	13,5	7,5
Cunícola cebo ⁽¹⁾		8,5	13,5	7,5
Avícola	Gallinas puesta ⁽¹⁾	10,5	10,4	7,2
	Pollos cebo ⁽¹⁾	16,0	12,0	8,7
	Codorniz puesta ⁽³⁾	20,5	8,9	15,9
	Codorniz cebo ⁽³⁾	20,5	8,9	15,9

Fuente: Ziegler y Heduit.; 1991, pp. 1-35.⁽¹⁾; Iguácel et al.; 2008, pp. 6-7.⁽²⁾; datos propios⁽³⁾. Elaboración propia.

Tabla 14. Estiércol generado en Aragón.		
Especie/tipo		Estiércol (t/año)
Vacuno nodriza		822.317
Vacuno ordeño		178.730
Bovinos cebo		4.966.391
Porcino reproductoras		2.839.981
Porcino cebo		7.117.490
Porcino ecológico		6.095
Ovino		2.102.223
Caprino		72.986
Cunícola reproductoras		62.275
Cunícola cebo		155.688
Avícola	Gallinas puesta	250.525
	Pollos cebo	237.472
	Codorniz puesta	200
	Codorniz cebo	2.590
Total		18.814.963

Elaboración propia.

Con estos valores, y tomando como referencia las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (Tabla 13), se obtienen las estimaciones de la cantidad de nutrientes esenciales que contienen los estiércoles de Aragón (Tabla 15).

Tabla 15. Estimación de la cantidad de nutrientes contenidos en los estiércoles. Aragón.								
Especie/tipo		Concentración estiércol (kg/t)			Estiércol generado (t/año)	Contenidos estimados estiércol (t/año)		
		N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O		N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vacuno nodriza		3,9	3,7	4,0	822.317	3.207	3.043	3.289
Vacuno ordeño		5,5	3,5	8,0	178.730	983	626	1.430
Bovinos cebo		2,4	1,0	2,7	4.966.391	11.919	4.966	13.409
Porcino reproductoras		3,1	2,6	1,7	2.839.981	8.804	7.384	4.828
Porcino cebo		5,5	4,7	3,0	7.117.490	39.146	33.452	21.352
Porcino ecológico		12,2	5,0	11,0	6.095	74	30	67
Ovino		6,7	4,2	11,2	2.102.223	14.085	8.829	23.545
Caprino		6,1	5,2	5,7	72.986	445	379	416
Cunícola reproductoras		8,5	13,5	7,5	62.275	529	841	467
Cunícola cebo		8,5	13,5	7,5	155.688	1.323	2.102	1.168
Avícola	Gallinas puesta	10,5	10,4	7,2	250.525	2.630	2.605	1.803
	Pollos cebo	16,0	12,0	8,7	237.472	3.799	2.850	2.066
	Codorniz puesta	20,5	8,9	15,9	200	4	2	3
	Codorniz cebo	20,5	8,9	15,9	2.590	53	23	41
Totales					18.814.963	87.004	67.132	73.886

Elaboración propia.

Conocidas las cantidades de nutrientes que disponen los estiércoles, solo queda multiplicarlas por el precio de mercado de estos elementos esenciales (Tabla 16), obteniéndose finalmente el valor monetario de los subproductos de origen animal (Tabla 17).

Tabla 16. Precio de nutrientes principales (enero/2014).		
N_{tot} (€/t)	P₂O₅ (€/t)	K₂O (€/t)
789,13	1.026,66	586,66

Fuente: Comunicación personal Ferpesa. Elaboración propia

Tabla 17. Valoración económica a precio de mercado de los estiércoles. Aragón.							
Especie/tipo		Contenidos estimados estiércol (t/año)			Valoración de elementos del estiércol (€/año)		
		N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vacuno nodriza		3.207	3.043	3.289	2.530.768	3.123.688	1.929.682
Vacuno ordeño		983	626	1.430	775.729	642.234	838.832
Bovinos cebo		11.919	4.966	13.409	9.405.907	5.098.795	7.866.673
Porcino reproductoras		8.804	7.384	4.828	6.947.454	7.580.807	2.832.376
Porcino cebo		39.146	33.452	21.352	30.891.436	34.344.038	12.526.640
Porcino ecológico		74	30	67	58.677	31.287	39.332
Ovino		14.085	8.829	23.545	11.114.810	9.064.725	13.812.848
Caprino		445	379	416	351.330	389.643	244.061
Cunícola reproductoras		529	841	467	417.717	863.128	274.007
Cunícola cebo		1.323	2.102	1.168	1.044.292	2.157.819	685.019
Avícola	Gallinas puesta	2.630	2.605	1.803	2.075.816	2.674.921	1.058.206
	Pollos cebo	3.799	2.850	2.066	2.998.338	2.925.633	1.212.042
	Codorniz puesta	4	2	3	3.243	1.832	1.870
	Codorniz cebo	53	23	41	41.903	23.668	24.161
Totales		87.004	67.132	73.886	68.657.466	68.921.739	43.345.960

Elaboración propia.

De la Tabla 17, se puede estimar que en el periodo de un año en Aragón los elementos que contienen los estiércoles pueden representar (a precio de mercado de los nutrientes) un total de aproximadamente 181 millones de euros. El nutriente que aporta un mayor valor económico a este total es el fósforo, con 69 millones, y las especies (estiércol de estas especies) que más contribuyen son el porcino de cebo y el ovino, con 78 y 34 millones de euros, respectivamente.

Para el cálculo de esta estimación se han tenido en cuenta los valores de concentraciones de nutrientes principales (N-P-K) de Ziegler y Heduit, en estiércoles de algunas especies. Concretamente, los estiércoles de las especies ovino, caprino y pollos de cebo, han sido caracterizados en este trabajo, obteniéndose valores de concentraciones de nutrientes (N-P-K) superiores a los aportados por estos autores. Por ello, se podría intuir que la valoración económica de los estiércoles en el conjunto de Aragón es mayor que la indicada en la Tabla 17.

Conjuntamente con las tablas anteriores, y teniendo en cuenta únicamente las concentraciones de nutrientes principales (N-P-K) en cada uno de los estiércoles (Ziegler-Heduit, Iguácel y datos propios) y los precios de mercado de estos, se estima el precio por tonelada de estiércol (Tabla 18).

Tabla 18. Valoración unitaria a precio de mercado.								
Especie/tipo		Concentración estiércol (kg/t)			Valor por nutrientes (€/t)			Valoración total (€/t)
		N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Vacuno nodriza		3,9	3,7	4,0	3,08	3,80	2,35	9,22
Vacuno ordeño		5,5	3,5	8,0	4,34	3,59	4,69	12,63
Bovinos cebo		2,4	1,0	2,7	1,89	1,03	1,58	4,50
Porcino reproductoras		3,1	2,6	1,7	2,45	2,67	1,00	6,11
Porcino cebo		5,5	4,7	3,0	4,34	4,82	1,76	10,92
Porcino ecológico		12,2	5,0	11,0	9,63	5,13	6,45	21,21
Ovino		6,7	4,2	11,2	5,29	4,31	6,57	16,17
Caprino		6,1	5,2	5,7	4,81	5,34	3,34	13,50
Cunícola reproductoras		8,5	13,5	7,5	6,71	13,86	4,40	24,97
Cunícola cebo		8,5	13,5	7,5	6,71	13,86	4,40	24,97
Avícola	Gallinas puesta	10,5	10,4	7,2	8,28	10,68	4,22	23,19
	Pollos cebo	16,0	12,0	8,7	12,63	12,32	5,10	30,05
	Codorniz puesta	20,5	8,9	15,9	16,18	9,14	9,33	34,64
	Codorniz cebo	20,5	8,9	15,9	16,18	9,14	9,33	34,64

Elaboración propia.

En la Tabla 19 se presenta la valoración unitaria de los estiércoles caracterizados en este trabajo.

Tabla 19.Valoración unitaria a precio de mercado. (Valores propios).							
Especie/tipo	Concentración estiércol (kg/t)			Valor por nutrientes (€/t)			Valoración total (€/t)
	N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{tot}	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Mezcla V.Nodrizas/B.Cebo	10,0	3,8	21,6	7,89	3,90	12,67	24,46
Porcino ecológico	12,2	5,0	11,0	9,63	5,13	6,45	21,21
Ovino	11,0	4,1	14,3	8,68	4,21	8,39	21,28
Mezcla cunícola/ovino	18,2	8,5	32,44	14,36	8,73	19,03	42,12
Caprino	9,9	3,6	20,3	7,81	3,69	11,91	23,42
Pollos cebo	32,8	11,3	31,9	25,88	11,60	18,71	56,20
Codorniz puesta	20,5	8,9	15,9	16,18	9,14	9,33	34,64

Elaboración propia. Siendo los valores de concentraciones de N-P-K (dados en la tabla) de cada una de las especies/tipo, la media de las distintas muestras caracterizadas en el trabajo de una misma especie/tipo.

De acuerdo con las Tablas 18 y 19, los fiemos con una mayor valoración económica son, el producido por el pollo de cebo (valores propios), el formado por cunícola/ovino, y el de codornices, diferenciándose, en buena medida, del resto.

4.4.2. Valor de sustitución

En esta valoración se examinan y comparan prácticas comunes de adonado mineral y su posible sustitución por abonado con estiércoles, para dos de los cultivos más representativos de Aragón. Se calculan todos los costes que suponen cada una de las prácticas de abonado (mineral y estiércol) y, por diferencia, se determina el valor del subproducto de origen animal.

Para la decisión de cuáles son los dos cultivos más representativos de Aragón se tienen en cuenta las Tablas 20 y 21.

Tabla 20. Superficie por grupos de cultivos en Aragón.	
Grupo de cultivo	Superficie (ha)
Cereales	829.389
Leguminosas	31.456
Tubérculos	1.558
Cultivo industrial	16.612
Forrajeras	88.877
Hortícolas	8.345
Frutales	121.278
Vid	49.158
Olivo	53.316
Total	1.204.898

Modificado de: Orús et al.; 2006, pp. 14-15.

Tabla 21. Superficie y producción de cereales en Aragón.			
Cultivo	Superficie (ha)	Producción (t)	Prod. media (kg/ha)
Trigo duro	217.572	257.487,08	1.183,46
Trigo blando	110.892	376.874,04	3.398,57
Cebada (2 carreras)	261.710	823.475,48	3.146,52
Cebada (6 carreras)	121.907	308.649,30	2.531,84
Avena	20.204	43.833,65	2.169,55
Centeno	3.261	5.787,32	1.774,71
Arroz	14.054	77.184,57	5.492,00
Maíz	78.504	729.187,72	9.288,54
Sorgo	1.285	4.435,41	3.451,68
Total	829.389	2.626.914,57	3.604,10

Modificado de: Orús et al.; 2006, pp. 14-15.

Se seleccionan los cereales, ya que son los que mayor superficie de cultivo ocupan en el territorio de Aragón (829.389 ha). Dentro del grupo de cereales, se opta por la cebada de dos carreras con una producción media de aproximadamente 3.150 kg/ha, y por un maíz con una producción estimada de 9.300 kg/ha. Se elige esta cebada puesto que es el cultivo de cereal con una mayor producción total (823.475,48 t), mayor superficie de cultivo (261.710 ha) y, además, sus necesidades de fertilización podrían equipararse a los de trigo blando u otros cereales de invierno, ya que las necesidades de nutrientes son parecidas. La elección del maíz, se realiza porque es el segundo cultivo en producción total (729.187,72 t) y, después de trigo y cebada, es el que está presente en una mayor superficie (78.504 ha). El maíz es uno de los cultivos más importantes en regadío, y el cereal con mayor consumo de nitrógeno.

Conocidos los cultivos y las producciones medias esperadas, es necesario estimar cuales son las necesidades nutritivas (centrándonos en las de N-P-K). La estimación general de estas necesidades se puede obtener en tablas bibliográficas, aunque en cada caso concreto es necesario el ajuste de las aportaciones. Aspecto que requiere adoptar múltiples consideraciones que no se analizan en estas simulaciones, puesto que trata de hacerse un estudio comparativo. Por ello y para simplificar, en este caso, se utilizan unos valores medios de necesidades de N-P-K (Tabla 22), asumiendo que se cubren solo con fertilizantes.

Tabla 22. Necesidades totales de los cultivos.			
Cultivo	Nitrógeno (kg/t)	Fósforo (kg/t)	Potasio (kg/t)
Cebada	24,5	10,1	17,2
Maíz	22,3	9,6	13,9

Modificado de: Orús et al.; 2011, 53 p.

Los valores de la Tabla 22, hacen referencia a la necesidad (kg) de cada uno de los macronutrientes por tonelada de producción esperada. En este caso concreto, las necesidades totales son las que se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Necesidades aproximadas de nutrientes.			
Cultivo (producción)	Nitrógeno (kg/ha)	Fósforo (kg/ha)	Potasio (kg/ha)
Cebada (3.150 kg/ha)	77,17	31,81	54,18
Maíz (9.300 kg/ha)	207,39	89,28	129,27

Elaboración propia.

Un parámetro muy importante a considerar en la planificación de un abonado, es conocer los costes de transporte-aplicación de abonos al campo. Sobre todo en los aportes de estiércol, ya que en la mayoría de los casos, este es el parámetro mediante el cual se determina el uso o no de este tipo de abono orgánico.

Existen en el mercado diferentes maquinarias de transporte-aplicación, así como un sinnúmero de posibilidades de planificación para llegar al abonado final del cultivo. Por tanto, los costes de esta labor agrícola oscilan en un rango amplio, siendo necesario elegir la metodología más apropiada a cada situación particular.

La valoración de costes para los casos de aplicación de abono mineral y de estiércol que se expone a continuación, parte de varias suposiciones (distancias, velocidad media, etc.) y precios e información dados por empresas de servicios.

Aplicación abono mineral

Información proporcionada
por la empresa de servicios:

Abonadora arrastrada de 5 t.
Precio: 10 €/ha (Siempre y cuando las parcelas se encuentren dentro del término municipal). Incluye carga, viaje (ida y vuelta) y aplicación en campo.

Coste aplicación: 10 €/ha

Aplicación abono orgánico

Información proporcionada
por la empresa de servicios:

Remolque esparcidor de 22 t.
Rendimiento: 2 remolques/hora (una vez en la parcela, aplica 44 toneladas de estiércol a la hora).
Precio: 70 €/h. Incluye carga, viaje (ida y vuelta) y aplicación en campo.
Tiempo de carga: 12 min (tiempo medio de carga desde el acopio al remolque).

Suposiciones:

Distancia media transporte: Aproximadamente 3 km entre acopio y parcela (normalmente el término municipal medio no excede de 6 km de diámetro). Fuente: Iguácel et al.; 2007, 9 p.
Velocidad media: 20 km/h (velocidad media del trayecto). Fuente: Iguácel et al.; 2007, 9 p.

Cálculos:

Tiempo del trayecto (ida y vuelta): $6 \text{ km} \times \frac{1 \text{ h}}{20 \text{ km}} = 0,3 \text{ h}$

Tiempo de carga del remolque: $12 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,2 \text{ h}$

(Luego en una hora de trabajo total, se dedican 0,5 h a desplazamiento y carga, y 0,5 h a la aplicación del estiércol)

Toneladas aplicadas por hora total de trabajo:

$$\frac{0,5 \text{ h aplicación}}{1 \text{ h total trabajo}} \times \frac{44 \text{ t estiércol}}{1 \text{ h aplicación}} = 22 \text{ t/h}$$

Precio por tonelada de estiércol:

$$\frac{70 \text{ €}}{1 \text{ h total trabajo}} \times \frac{1 \text{ h total de trabajo}}{22 \text{ t estiércol}} = 3,18 \text{ €/t}$$

Coste aplicación: 3,18 €/t

Partiendo de los datos expuestos hasta ahora, que son considerados generales para ambos tipos de abonado (mineral y orgánico), a continuación se muestran de forma separada (*abonado mineral* y *abonado orgánico*) algunas de las consideraciones particulares que hay que tener en cuenta para realizar el cálculo final de los costes de los abonados, y así poder asignar un valor económico a los estiércoles.

Abonado mineral

La planificación del caso de abonado mineral, se basa en dos de las prácticas comúnmente utilizadas para la fertilización de los cultivos elegidos (Tabla 24). Estas prácticas, permiten marcar las pautas para poder determinar cuáles son las cantidades aproximadas de abono a aplicar, fraccionamiento del mismo y los tipos de abonos usualmente utilizados.

Tabla 24. Prácticas de fertilización mineral.		
Cultivo	Fondo	Cobertera
Cebada (producción aproximada, 3.000-4.000 kg/ha) ⁽¹⁾	Fertilizante: 8-15-15 Dosis (kg/ha): 315-450	Fertilizante: Urea 46 % Dosis (kg/ha): 117-162
Maíz (producción aproximada, 10.000-12.000 kg/ha) ⁽²⁾	Fertilizante: 8-15-15 Dosis (kg/ha): 800	1º Aportación: Fertilizante: Urea 46 % Dosis (kg/ha): 200-250
		2º Aportación: Fertilizante: NAC 27 % Dosis (kg/ha): 285-320

Modificado de: López⁽¹⁾ y Betrán⁽²⁾; 2010, pp. 133-140.

Los precios de los fertilizantes que se utilizan en las prácticas mostradas en el cuadro anterior (Tabla 24) son fluctuantes. En enero de 2014 los precios (IVA incluido) de los fertilizantes se encontraban en torno a los valores que se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Precio fertilizantes (enero/2014).	
Producto	Precio (€/t)
Abono Complejo NPK 8-15-15	374,0
Urea 46%	363,0
Nitrato Amónico Cálcico 27 % (NAC 27 %)	291,5
Superfosfato simple 18 %	184,8

Fuente: Comunicación personal Ferpesa. Elaboración propia.

Con los datos y suposiciones expuestas anteriormente, se procede a la simulación de los abonados minerales, los cuales, permiten calcular los costes totales que supone la fertilización del cultivo de la cebada y del maíz.

Simulación abonado mineral→Cebada

Fondo (8-15-15): $\frac{315 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{8 \text{ kg N}}{100 \text{ kg } 8-15-15} = 25,2 \text{ kg/ha de N}$

$$\frac{315 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{15 \text{ kg P}_2\text{O}_5}{100 \text{ kg } 8-15-15} = 47,25 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5$$

$$\frac{315 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{15 \text{ kg K}_2\text{O}}{100 \text{ kg } 8-15-15} = 47,25 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

Cobertera (Urea 46 %): $\frac{117 \text{ kg Urea}}{\text{ha}} \times \frac{46 \text{ kg N}}{100 \text{ kg Urea}} = 53,82 \text{ kg/ha de N}$

Tabla resumen:

	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Cantidad aplicada	79,02	47,25	47,25
Necesidades aprox.	77,17	31,81	54,18

Este programa de fertilización se ajusta a las necesidades del cultivo.

Coste de los abonos: **Fondo:** $\frac{315 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{374 \text{ €}}{1000 \text{ kg } 8-15-15} = 117,81 \text{ €/ha}$

Cobertera: $\frac{117 \text{ kg Urea}}{\text{ha}} \times \frac{363 \text{ €}}{1000 \text{ kg Urea}} = 42,47 \text{ €/ha}$

Coste de aplicación: 20 €/ha (10 € aplicación fondo y 10 € aplicación cobertera).

COSTE TOTAL=180,28 €/ha

Simulación abonado mineral → Maíz

Fondo (8-15-15):

$$\frac{800 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{8 \text{ kg N}}{100 \text{ kg } 8-15-15} = 64 \text{ kg/ha de N}$$

$$\frac{800 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{15 \text{ kg P}_2\text{O}_5}{100 \text{ kg } 8-15-15} = 120 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5$$

$$\frac{800 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{15 \text{ kg K}_2\text{O}}{100 \text{ kg } 8-15-15} = 120 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

Cobertera (Urea 46 % y NAC 27%):

1ª Aportación (Urea 46 %):

$$\frac{200 \text{ kg Urea}}{\text{ha}} \times \frac{46 \text{ kg N}}{100 \text{ kg Urea}} = 92 \text{ kg/ha de N}$$

2ª Aportación (NAC 27 %):

$$\frac{200 \text{ kg NAC}}{\text{ha}} \times \frac{27 \text{ kg N}}{100 \text{ kg NAC}} = 54 \text{ kg/ha de N}$$

(Ajustando la dosis de 285 a 200 kg/ha)

Tabla resumen:

	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Cantidad aplicada	210	120	120
Necesidades aprox.	207,39	89,28	129,27

La cantidad de nutrientes aplicada se ajusta de forma considerable a las necesidades.

Coste de los abonos:

$$\text{Fondo: } \frac{800 \text{ kg } 8-15-15}{\text{ha}} \times \frac{374 \text{ €}}{1000 \text{ kg } 8-15-15} = 299,20 \text{ €/ha}$$

Cobertera:

$$\text{1ª Aportación: } \frac{200 \text{ kg Urea}}{\text{ha}} \times \frac{363 \text{ €}}{1000 \text{ kg Urea}} = 72,91 \text{ €/ha}$$

$$\text{2ª Aportación: } \frac{200 \text{ kg NAC}}{\text{ha}} \times \frac{291,5 \text{ €}}{1000 \text{ kg NAC}} = 58,30 \text{ €/ha}$$

Coste de aplicación:

30 €/ha (10 € aplicación fondo y 20 € aplicación cobertera).

COSTE TOTAL= 460,41 €/ha

Abonado orgánico

Para la planificación del abonado orgánico, se parte de la premisa de una aplicación de estiércol con un aporte máximo de 170 kg N_{total}/ha, que es la admitida para cultivos herbáceos según el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables (Orden de 10 de septiembre de 2013). Dado que esta limitación afecta esencialmente al maíz y que este se establece en muchos casos en zonas vulnerables, se adopta ese límite con carácter general.

Con el abonado de estiércoles, se intenta aportar la máxima cantidad posible en fondo (máximo 170 kg/ha de N) y después complementar en cobertera, si es necesario, con un abono de origen mineral. En los cultivos elegidos para la simulación (cebada y maíz), las cantidades de estiércol a aportar se calculan de distinta forma para cada cultivo. En el cultivo del maíz se aplica la máxima cantidad de nitrógeno (170 kg/ha de N) en fondo y se complementa en cobertera hasta cubrir las necesidades del cultivo (207,39 kg/ha de N) con abono mineral. En el supuesto de la cebada, se calcula la dosis en función de la cantidad de nitrógeno del estiércol, la eficiencia del mismo y las necesidades del cultivo.

Un concepto importante a considerar, cuando se utiliza este tipo de abono, es el de “eficiencia” de los elementos nutritivos principales, y especialmente la eficiencia del nitrógeno.

El nitrógeno total que contienen los estiércoles, está compuesto por nitrógeno mineral y nitrógeno orgánico. La forma mineral se encuentra disponible para el cultivo en el mismo año de su aplicación, y la orgánica tiene una fracción que se mineraliza en el año de su aplicación, y por tanto se encuentra disponible, y otra fracción que se mineraliza en años sucesivos.

La forma de nitrógeno mineral y la fracción orgánica fácilmente mineralizable, forma el denominado “efecto directo del nitrógeno” o “eficiencia del nitrógeno”, y la fracción orgánica que se mineraliza más lentamente constituye el “efecto residual del nitrógeno” de los estiércoles.

En la Tabla 26 puede verse la importancia de cada una de estas partes, en distintos estiércoles y compost.

Tabla 26. Estimación porcentajes de fracciones nitrogenadas.										
Fertilizante orgánico	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Gallinaza de puesta							70		90%	
Pollos cebo							70		90%	
Purín de porcino						60		80%		
Purín de vacuno				40			70%			
Compost de aves			30		50%					
Fieumos vacuno-cerdos	10			40%						
Compost vacuno-ovino		20%								

Modificado de: Orús et al.; 2011, 47 p.

Siendo: La porción, coloreada en azul claro, el % en total del nitrógeno (en forma mineral), que está disponible en el mismo año de su aplicación.
 La porción coloreada en azul oscuro, el % del nitrógeno (orgánico), que también se mineraliza en el año de su aplicación.
 La porción coloreada en gris, el % del nitrógeno (orgánico), que se mineraliza en años sucesivos.

En cuanto a los otros nutrientes esenciales del estiércol, se asume que el fósforo tiene una eficiencia próxima 85 % y el potasio un 100% de eficiencia.

El subproducto orgánico elegido para las simulaciones es estiércol de cebo de pollos (broiler), con un tiempo acopio de un año y la composición que se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Concentración estiércol pollos cebo. (Valores propios).		
(kg/t)		
N Total	P₂O₅	K₂O
34,35	13,25	34,13

Elaboración propia.

Como se desprende de la Tabla 26, el fiemo de pollos de cebo (broiler) puede mineralizar en el año de aplicación hasta un 90 % de su contenido de nitrógeno (70+20 %). Por lo tanto, tiene una eficiencia del 90 % en el primer año, y un 10 % de efecto residual.

Mediante todos los parámetros aportados, se realizan las simulaciones de abonados con subproductos orgánicos en los cultivos de cebada y maíz.

Simulación abonado orgánico→Cebada

Fondo (Estiércol broiler) $\frac{77,17 \text{ kg N}_{\text{efectivo}}}{\text{ha}} \times \frac{100 \text{ kg N}_{\text{total}}}{90 \text{ kg N}_{\text{efectivo}}} \times \frac{1 \text{ t estiércol}}{34,35 \text{ kg N}_{\text{total}}} = 2,5 \text{ t/ha de estiércol}$
 Con esta dosis y con el 90 % de eficiencia del N, se cubren los 77,2 kg/ha de N_{efectivo} requeridos por el cultivo. Se aportan 85,78 kg/ha de N_{total} .

$\frac{2,5 \text{ t estiércol}}{\text{ha}} \times \frac{13,23 \text{ kg P}_{\text{total}}}{\text{t estiércol}} \times \frac{85 \text{ kg P}_{\text{efectivo}}}{100 \text{ kg P}_{\text{total}}} = 28,11 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5$
 Con esta dosis y con un 85 % de eficiencia del P_2O_5 , se cubren 28,11 kg/ha de P_{efectivo} , de los requeridos por el cultivo. Se aportan 33,07 kg/ha de P_{total} .

$\frac{2,5 \text{ t estiércol}}{\text{ha}} \times \frac{34,13 \text{ kg K}_2\text{O}}{\text{t estiércol}} = 85,32 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$

Cobertera : En principio, no sería necesaria una aplicación de cobertera. En función de la evolución del cultivo, precio del abono mineral y el precio final del grano, se decidirá un nuevo aporte o no.

Tabla resumen:

	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Cantidad aplicada	77,20	28,11	85,32
Necesidades aprox.	77,17	31,81	54,18

A la vista de estos resultados, se puede observar que el ajuste de N y P_2O_5 es adecuado a las necesidades del cultivo. Se sobrepasan las de K_2O ($85,32/54,18=1,6$ veces), lo que no sería ningún problema en la primera etapa del cultivo, pero podría ser necesario un análisis posterior del suelo para comprobar la evolución de este nutriente.

Coste de los abonos: Fondo y cobertera: Se considera inicialmente un coste de este abono de 0 €, ya que el estiércol suele ser concedido al agricultor de forma gratuita, pero posteriormente se calcula el valor aproximado. No se aplica ningún abono mineral en cobertera.

Coste de aplicación: $\frac{3,18 \text{ €}}{\text{t estiércol}} \times \frac{2,5 \text{ t estiércol}}{\text{ha}} = 7,95 \text{ €/ha}$

Valor residual: Como realmente se aportan 85,78 kg/ha de N_{total} y el cultivo solo tendrá disponible 77,2 kg/ha de N_{efectivo} , quedaran en el suelo 8,58 kg/ha de N aprovechables en años posteriores. Por el mismo motivo, en el caso del fósforo serán 4,96 kg/ha de P_2O_5 .

COSTE TOTAL= 7,95 €/ha

Simulación abonado orgánico→Maíz

Fondo (Estiércol broiler y Superfosfato 18 %):

1ªAportación (Estiércol broiler):

$$\frac{170 \text{ kg } N_{\text{total}}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ t estiércol}}{34,35 \text{ kg } N_{\text{total}}} = 4,95 \text{ t/ha de estiércol}$$

Con esta dosis y con el 90 % de eficiencia del N, quedan disponibles 153 kg/ha de N_{efectivo} para el cultivo. Se aportan 170 kg/ha de N_{total} .

$$\frac{4,95 \text{ t estiércol}}{\text{ha}} \times \frac{13,23 \text{ kg } P_{\text{total}}}{\text{t estiércol}} \times \frac{85 \text{ kg } P_{\text{efectivo}}}{100 \text{ kg } P_{\text{total}}} = 55,66 \text{ kg/ha de } P_2O_5$$

Con esta dosis y con un 85 % de eficiencia del P_2O_5 , quedan disponibles 55,66 kg/ha de P_{efectivo} para el cultivo. Se aportan 65,49 kg/ha de P_{total} .

$$\frac{4,95 \text{ t estiércol}}{\text{ha}} \times \frac{34,13 \text{ kg } K_2O}{\text{t estiércol}} = 168,94 \text{ kg/ha de } K_2O$$

2ªAportación (Superfosfato 18 %):

$$\frac{186 \text{ kg Superfosfato}}{\text{ha}} \times \frac{18 \text{ kg } P_{\text{efectivo}}}{100 \text{ kg Superfosfato}} = 33,48 \text{ kg/ha de } P_2O_5$$

(Se ajusta a 186 kg/ha de Superfosfato)

Cobertera (NAC 27 %):

$$\frac{203,7 \text{ kg NAC}}{\text{ha}} \times \frac{27 \text{ kg } N_{\text{efectivo}}}{100 \text{ kg NAC}} = 55 \text{ kg/ha de N}$$

(Se ajusta 203,7 kg/ha de NAC)

Tabla resumen:

	N (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)
Cantidad aplicada	208	89,14	168,94
Necesidades aprox.	207,39	89,28	129,27

Las aportaciones son bastante similares a las necesidades del cultivo.

Coste de los abonos:

Fondo:

1ªAportación: Se considera inicialmente que el coste del abono orgánico de fondo es de 0 €, ya que el estiércol suele ser concedido al agricultor de forma gratuita, pero posteriormente se calcula el valor aproximado.

$$\text{2ªAportación: } \frac{186 \text{ kg Superfosfato}}{\text{ha}} \times \frac{184,8 \text{ €}}{1000 \text{ kg Superfosfato}} = 34,37 \text{ €/ha}$$

$$\text{Cobertera: } \frac{203,7 \text{ kg NAC}}{\text{ha}} \times \frac{291,5 \text{ €}}{1000 \text{ kg NAC}} = 59,38 \text{ €/ha}$$

Coste de aplicación:

$$\frac{3,18 \text{ €}}{\text{t estiércol}} \times \frac{4,95 \text{ t estiércol}}{\text{ha}} = 15,74 \text{ €/ha (aplicación estiércol)}$$

20 €/ha (10 € fondo y 10 € cobertera, de aplicación mineral)

Valor residual:

Como realmente se aportan 170 kg/ha de N_{total} y el cultivo solo tendrá disponible 153 kg/ha de N_{efectivo} , quedaran en el suelo 17 kg/ha de N aprovechables en años posteriores. Por el mismo motivo, en el caso del fósforo serán 9,83 kg/ha de P_2O_5 .

COSTE TOTAL= 129,49 €/ha

Conocidos los costes totales que suponen las fertilizaciones minerales y los costes totales de los abonados con estiércol, se determina el valor de sustitución, que se le atribuye al estiércol de pollo de cebo (broiler) de un año de maduración, para cada uno de los cultivos.

Valor de sustitución

Cebada (3.150 kg/ha)

Coste total abonado mineral: 180,28 €/ha
 Costes de aportación abonado orgánico: 7,95 €/ha
 Estiércol de boiler aportado: 2,5 t/ha de estiércol

Cálculos: 180,28 - 7,95 = 172,33 €/ha

$$\frac{172,33 \text{ €}}{\text{ha}} \times \frac{\text{ha}}{2,5 \text{ t}} = 68,93 \text{ €/t de estiércol (valor de sustitución en cebada)}$$

Maíz (9.300 kg/ha)

Coste total abonado mineral: 460,41 €/ha
 Costes de abonado orgánico: 129,49 €/ha
 Estiércol de boiler aportado: 4,95 t/ha de estiércol

Cálculos: 460,41 - 129,49 = 330,92 €/ha

$$\frac{330,92 \text{ €}}{\text{ha}} \times \frac{\text{ha}}{4,95 \text{ t}} = 66,85 \text{ €/t de estiércol (valor de sustitución en maíz)}$$

Como se desprende de este cuadro el valor de sustitución del estiércol de pollo broiler es de 68,93 €/t para el caso de la cebada y de 66,85 €/t para el maíz.

No se ha tenido en cuenta a la hora de realizar los cálculos, el valor del nitrógeno y fósforo residual. En el caso de la cebada, supondría un valor adicional de 11,8 €/ha (8,58 kg/ha de N y 4,96 kg/ha de P₂O₅), y de 23,5 €/ha (17 kg/ha de N y 9,83 kg/ha de P₂O₅) en el maíz.

Por otro lado, en estos supuestos económicos solo se ha valorado por el contenido de nutrientes principales en los estiércoles, pero estos subproductos tienen otras aportaciones, como otros nutrientes (oligoelementos), la mejora de la materia orgánica del suelo, etc.

Calculando la valoración unitaria a precio de mercado de este estiércol de broiler, con un tiempo de acopio de un año, de igual forma que en el apartado anterior (Tabla 19), el valor del estiércol sería de aproximadamente 60,73 €/t, obteniéndose un valor muy aproximado a los calculados en este último apartado (68,93 y 66,85 €/t).

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas de los resultados de este trabajo se pueden agrupar en los siguientes apartados:

Concentración y equilibrio de nutrientes en los subproductos orgánicos caracterizados.

Se han caracterizado diversos subproductos orgánicos de origen animal, en concreto estiércoles de pollos de cebo, codornices, porcino ecológico, caprino, y los de mezcla de cunícola con ovino y de vacuno de nodrizas con bovino de cebo. Todos generados en Aragón. Para varios de ellos no se disponía de valores de referencia previos.

- Entre los subproductos caracterizados se observan grandes diferencias de concentración y equilibrio del contenido de nutrientes. Pero la variabilidad dentro de cada especie o tipo de estiércol es relativamente baja.
- Comparando contenidos sobre materia fresca, los subproductos orgánicos con una mayor concentración de nutrientes principales son el producido por pollos de cebo (32,8 kg/t de nitrógeno, 11,3 kg/t de fósforo y 31,9 kg/t de potasio), y los de menor concentración son los generados por el porcino ecológico (12,2 kg/t de nitrógeno, 5,0 kg/t de fósforo y 11,0 kg/t de potasio) y los del ovino (11,0 kg/t de nitrógeno, 4,1 kg/t de fósforo y 14,3 kg/t de potasio).
- En los tipos de estiércol de los que se disponía de valores de referencia, aparecen notables diferencias de concentración de nutrientes entre esos valores (principalmente Ziegler y Heduit, 1991) y los obtenidos en este trabajo. Siendo estos últimos más altos que los bibliográficos. La diferencia más notable se da en el estiércol de pollos de cebo, con unos contenidos comprobados de 32,8 kg/t de nitrógeno, 11,3 kg/t de fósforo y 31,9 kg/t de potasio, frente a los bibliográficos de 16,0 kg/t de nitrógeno, 12,0 kg/t de fósforo y 8,7 kg/t de potasio (Pollos de carne; Ziegler y Heduit, 1991).
- Los estiércoles de cada especie o tipo presentan una pauta común en cuanto al equilibrio entre nutrientes. Este equilibrio permite separar los estiércoles de aves (monogástricos; 2,5-1-2,5 aprox.), de los rumiantes (o poligástricos; 3-1-5 aprox.), y del resto, principalmente monogástricos (2-1-3 aprox.).

Valoración económica.

- Se estima que la totalidad de los nutrientes principales (N-P-K) que contienen los subproductos ganaderos generados en un año en Aragón, suponen un total de aproximadamente 131 millones de euros como fertilizantes (a precio de mercado de los nutrientes).
- Los estiércoles con más alta valoración unitaria, son los producidos por los pollos de cebo (según los valores propios; 56 €/t), el formado por cunícola/ovino (42 €/t), y el de codornices (34 €/t).
- El valor de sustitución atribuible al subproducto de pollo de cebo (con un tiempo acopio de un año), en cuanto a la posibilidad que presenta de sustituir al abonado mineral en los cultivos de cebada y de maíz, es de 69 y 67 €/t, respectivamente.

Aspectos ambientales y de gestión.

- El uso de los subproductos ganaderos permite sustituir la totalidad de la fertilización mineral de la cebada y una gran parte de la del maíz. Destinar al suelo estos subproductos presenta beneficios y riesgos ambientales:
 - Es positivo el reciclaje de nutrientes, la mejora de la fertilidad del suelo, y la reducción del uso de fertilizantes minerales.
 - El desconocimiento de la composición, y por tanto la utilización de dosis inadecuadas, se presenta como el principal riesgo ambiental.
- En los estiércoles con elevada concentración de nitrógeno amoniacal el tiempo de acopio debería prolongarse lo menos posible. Evitando la probable contaminación del aire y la pérdida de nitrógeno del fertilizante orgánico (notable por ejemplo en el caso del estiércol de codornices).
- Con carácter general, la mejor estrategia de aprovechamiento de estos subproductos es aportar la mayor cantidad posible de estiércol en abonado de fondo de los cultivos, intentando cubrir así el máximo de las necesidades. Y posteriormente, si es necesario, complementar en abonado de cobertura con un fertilizante de origen mineral. La elección de la estrategia de aprovechamiento más adecuada para cada situación particular, requerirá contemplar información concreta como, subproductos disponibles y su riqueza, conocimiento de las normativas aplicables, situación del suelo, o aportes indirectos, entre otros. Todo ello dentro de un plan de abonado.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aragón. Decreto 77/1997, de 27 de mayo, por el que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Comunidad Autónoma de Aragón y se designan determinadas áreas Zonas Vulnerables a la contaminación de las aguas por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. [Internet] Boletín Oficial de Aragón, 11 de junio de 1997, núm. 66, pp.3068-3081. Accesible:

<http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=43709176353>

1. Acceso: 19/02/2014

Aragón. Decreto 94/2009, de 26 de mayo, por el que se aprueba la revisión de las Directrices sectoriales sobre actividades e instalaciones ganaderas. [Internet] Boletín Oficial de Aragón, 5 de junio de 2009, núm. 106, pp. 13634-13672.

Accesible: <http://aragonparticipa.aragon.es/dmdocuments/BRSCGI-1.pdf>.

Acceso: 19/02/2014

Aragón. Orden de 10 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se designan y modifican las zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Aragón. [Internet] Boletín Oficial de Aragón, 9 octubre de 2013, núm. 200, pp. 26337-26340. Accesible:

<http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=754175183131>.

Acceso: 19/02/2014

Aragón. Orden de 11 de mayo de 2007, del Departamento de Agricultura y Alimentación, por la que se fijan las Normas Generales que deben aplicarse a la producción integrada de vegetales. [Internet] Boletín Oficial de Aragón, 28 de mayo de 2007, núm. 63, pp. 8263-8270. Accesible:

<http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=20006231540>

1. Acceso: 19/02/2014

Aragón. Orden de 18 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se aprueba el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables a la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en la Comunidad Autónoma de Aragón. [Internet] Boletín Oficial de Aragón, 10 de octubre de 2013, núm. 201, pp. 26386-26414. Accesible:

<http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=754410362323>.

Acceso: 19/02/2014

- Aragón. Orden de 18 de septiembre de 2013, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, por la que se aprueba el IV Programa de Actuación sobre las Zonas Vulnerables a la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en la Comunidad Autónoma de Aragón. [Internet] Boletín Oficial de Aragón, 10 de octubre de 2013, núm. 201, 26406 p. Accesible: <http://www.boa.aragon.es/cgibin/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=754410362323>. Acceso: 19/02/2014
- BANR (Board on Agriculture and Natural Resources) y BEST (Board of Environmental Studies and Toxicology; 2003). *Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs*. The National Academic Press. Washington, D.C. USA, 225 p.
- Betrán, J y López, L. (2010). Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. En: Ruano Criado S. (Coord), *Parte II Abonado de los principales cultivos en España*. Gobierno de España, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España, pp. 123-259.
- Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático, Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón y Observatorio de Medio Ambiente de Aragón (2009). *Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón (2009-2015)*. Gobierno de Aragón, pp. 1-180.
- EPA (Environmental Protection Agency; 2000). *National Water Quality Inventory 2000 Report* (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA, 207 p.
- España. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. [Internet] Boletín Oficial del Estado, 29 de julio de 2011, núm. 118, pp. 85650- 85705. Accesible: <https://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/BOE-A-2011-13046.pdf>. Acceso: 19/02/2014
- España. Real Decreto 1528/2012, de 8 de noviembre, por el que se establecen las normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano. [Internet] Boletín Oficial del Estado, 17 de noviembre de 2012, núm. 277, pp. 80199-80226. Accesible: <http://www.boe.es/boe/dias/2012/11/17/pdfs/BOE-A-2012-14165.pdf>. Acceso: 19/02/2014
- España. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. [Internet] Boletín Oficial del Estado, 11 de marzo de 1996, núm. 61, pp. 9734-9737. Accesible: <http://www.boe.es/boe/dias/1996/03/11/pdfs/A09734-09737.pdf>. Acceso: 19/02/2014.
- Hafez, A.A.R. (1974). *Comparative Changes in Soil-Physical Properties Induced by Admixtures of Manures from Various Domestic Animals*, Soil Sci, pp. 53-59.

- Iguácel, F y Yagüe, M.R. (2007). *Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín*. Informaciones Técnicas nº178/2007 del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón, pp. 2-15.
- Iguácel, F.; Orús, F.; Quílez, D. y Yagüe, M.R. (2008). *Métodos rápidos de análisis como herramienta de gestión en la fertilización con purín de porcino. Conductimetría*. Informaciones Técnicas nº195/2008 del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón, pp. 2-15.
- Instituto Aragonés de Estadística (2011). *Unidades Ganaderas (UG). CC.AA. y provincias. Año 2009*. Gobierno de Aragón. Accesible:
http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/Documentos/docs/Areas/Econom/InfoTem/AgriGanSelvPesc/CensAgra/2009/UNIDADES_GANADERAS.xls. Acceso: 19/02/2014
- Instituto Aragonés de Estadística (2013a). *Efectivos de la cabaña ganadera: Aragón y provincias, España. Años 2001-2012*. Gobierno de Aragón. Accesible:
<http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/Documentos/docs/Areas/Econom/InfoTem/AgriGanSelvPesc/Ganaderia/01030204A02.xls>. Acceso: 19/02/2014
- Instituto Aragonés de Estadística (2013b). *Resumen directorios y encuestas ganaderas. Años (2005-2013)*. Gobierno de Aragón. Accesible:
[http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AgriculturaGanaderia/Areas/11_Estadisticas_Agrarias/EstadisticasGanaderas/Directorios_ganaderos\(de%20docs\)/1ResumenDirectoriosGanaderosEncuestasGanaderasArag%C3%B3n1995_2013.xls](http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AgriculturaGanaderia/Areas/11_Estadisticas_Agrarias/EstadisticasGanaderas/Directorios_ganaderos(de%20docs)/1ResumenDirectoriosGanaderosEncuestasGanaderasArag%C3%B3n1995_2013.xls). Acceso: 19/02/2014
- Instituto Aragonés de Estadística (2013c). *Operadores inscritos en Ganadería Ecológica y número de cabezas/colmenas, según tipo de Actividad Ganadera. Aragón y provincias. Año 2012*. Gobierno de Aragón. Accesible:
<http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/Documentos/docs/Areas/Econom/InfoTem/AgriGanSelvPesc/AgriEco/01020101C04.xls>. Acceso: 19/02/2014
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). IGES, Japan. Vol 4. (10), 87 p.
- ISO 690-1987. *Citar legislación y jurisprudencia*. [Internet] Biblioteca Universidad de Alcalá. Accesible: http://www.uah.es/biblioteca/ayuda_formacion/citar_legislacion.html. Acceso: 19/02/2014

- Mcintosh, J.L. y Varney, K.E. (1973). *Accumulative Effects of Manure and N on Continuous Corn and Clay Soil*. II. Chemical Changes in Soil, pp. 629-633.
- Miller, J. J. (2001). *Impact of intensive livestock operations on water quality*. Proc. Western Canadian. Dairy Seminar 13, pp. 405-416.
- Orús, F y Sin, E. (2006). Anuario Estadístico Agrario de Aragón. En: Orús Pueyo F. (Coord), *Fertilización nitrogenada. Guía de actualización*. Informaciones Técnicas nº extraordinario del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón, pp. 7-196.
- Orús, F.; Betrán, J.; Iguácel, F. y López, M.V. (2011). *Fertilización con subproductos orgánicos. Hacia una gestión sostenible de los nutrientes en la agricultura*. Informaciones Técnicas nº232/2011 del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón, pp. 39-70.
- Powers, W. (2009). *Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry*. En: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL, USA, pp. 13-24.
- Reddy, K.R.; Kadlec, R.H. y Gale, P.M. (1999). *Phosphorus retention in streams and wetlands: a review*. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 29, pp. 83-146.
- Segres, J. (1993). *La Ganadería Avícola y Porcina en España. Del aprovechamiento tradicional al industrializado*. Publicaciones Universidad de Alicante, Alicante, 29 p.
- Simpson, K. (1986). *Abonos y estiércoles*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España, pp. 91-92.
- Thompson, L.M. y Troeh, FR. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. 4ª ed. Editorial Reverté, pp. 294-295.
- Tiarks, A.E.; Mazurak, A.P. y Chesnin, L. (1974). *Physical and Chemical Properties of Soil Associated with Heavy Applications of Manure from Cattle Feedlots*, Soil Sci, pp. 826-830.
- Unión Europea. Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos. Bruselas 21.2.2007. [Internet] Diario Oficial de la Unión Europea Nº 59, pp. 1-14. Accesible: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0059:FIN:ES:PDF>. Acceso: 19/02/2014
- Unión Europea. Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 relativa a los residuos. [Internet] Diario Oficial de la Unión Europea L 114, 27 de abril de 2006, pp. 1-13. Accesible: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0009:0021:es:PDF>. Acceso: 19/02/2014

Unión Europea. Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias. [Internet] Diario Oficial de la Unión Europea L 375, 31 de diciembre de 1991, pp. 1-8. Accesible:

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1991:375:0001:0008:ES:PDF>

. Acceso: 19/02/2014

Unión Europea. Reglamento (CE) nº 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales). [Internet] Diario Oficial de la Unión Europea, L 300, 14 de noviembre de 2009, pp.1-33. Accesible:

<http://www.boe.es/doue/2009/300/L00001-00033.pdf>. Acceso: 19/02/2014

Unión Europea. Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 2092/91. [Internet] Diario Oficial de la Unión Europea, L 189, 20 de julio de 2007, pp.1-23. Accesible: <http://www.boe.es/doue/2007/189/L00001-00023.pdf>. Acceso: 19/02/2014

Unión Europea. Reglamento (UE) nº 142/2011 de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, y la Directiva 97/78/CE del Consejo en cuanto a determinadas muestras y unidades exentas de los controles veterinarios en la frontera en virtud de la misma. [Internet] Diario Oficial de la Unión Europea, L 54, 26 de febrero de 2011, pp.1-254. Accesible: <http://www.boe.es/doue/2011/054/L00001-00254.pdf>.

Acceso: 19/02/2014

Wessler, A. (2001). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. 4ª ed. Ediciones Ronald Atlas y Richard Bartha, pp. 306-380.

Ziegler, D Y Heduit, M. (1991). *Engrais de ferme. Valeur fertilisante, gestion et environnement*. ITCF, Paris, pp. 1-35.